Health Canada / Santé Canada

Enquête sur l'exposition des êtres humains aux contaminants dans le milieu :

Un guide pour les calculs de l'exposition

Canada

Enquête sur l'exposition des êtres humains aux contaminants dans le milieu :

Un guide pour les calculs de l'exposition

Notre mission est d'aider les Canadiens et les Canadiennes à maintenir et à améliorer leur état de santé.

Santé Canada

Publication autorisée par le ministre de la Santé nationale et du Bien-être social

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1995

N° de cat. H49-96/1-1995F

ISBN-0-662-80368-X

Also available in English under the title: *Investigating Human Exposure to Contaminants in the Environment: A Handbook for Exposure Calculations.*

Imprimé sur papier recyclé.

AVANT-PROPOS

Le grand public et les collectivités prennent de plus en plus conscience du rapport existant entre leur santé et l'environnement. L'*Enquête sur l'exposition des êtres humains aux contaminants dans le milieu* comprend deux guides contenant des renseignements sur la façon d'aider les collectivités à interpréter ce rapport. Le *guide communautaire* vous aidera à mener une évaluation descriptive de l'exposition et à établir le profil de santé de votre collectivité. *Un guide pour les calculs de l'exposition* décrit les méthodes générales utilisées pour calculer l'exposition des êtres humains aux contaminants dans le milieu. Ces guides ont été préparés par le programme «Les Grands Lacs : Impact sur la santé» de la Direction générale de la protection de la santé, Santé Canada.

Pour de plus amples renseignements sur le programme «Les Grands Lacs : Impact sur la santé» ou sur l'un de ces guides, communiquez avec :

Les Grands Lacs : Impact sur la santé
Immeuble principal, aile 1100
Localisateur postal 0301 A1
Pré Tunney
Ottawa (Ontario)
K1A 0K9
Tél. : (613) 957-1876

REMERCIEMENTS

Enquête sur l'exposition des êtres humains aux contaminants dans le milieu : Un guide pour les calculs de l'exposition a été préparé par le programme «Les Grands Lacs : Impact sur la santé» de la Direction générale de la protection de la santé, Santé Canada. Un certain nombre de personnes ont contribué à la préparation de ce guide. Il s'agit de : Douglas Haines, Jennifer Rae, Andy Gilman, Mary Hegan et Lynn Andrews, du programme Les Grands Lacs : Impact sur la santé, Brian Ahier, de la Division des dangers des rayonnements du milieu, ainsi que Rod Raphael et Barry Jessiman, de la Division de la surveillance et des critères, qui font tous partie de la Direction de l'hygiène du milieu de Santé Canada. Les personnes suivantes ont révisé le présent guide : Elaine Easson, Danny Epstein, Bev Huston, David Kane, Mark Richardson, Keith Rodgers et Ron Newhook.

Les illustrations et les photos contenues dans le guide proviennent de diverses sources. Les figures 1 et 2 ont été créées pour ce guide. La figure 3 est extraite de «*Un lien naturel*», publié en 1992 par Santé et Bien-être social Canada. Sauf indication contraire, toutes les photographies ont été fournies par Santé Canada. La couverture nous a été fournie par Douglas Haines.

TABLE DES MATIÈRES

1. **AU SUJET DE CE MANUEL** 1

Pourquoi ce manuel a-t-il été mis au point? 1

Que renferme ce manuel? 1

De quelle manière peut-on interpréter les résultats? 1

Mise en garde 2

Unités de mesure pour les contaminants dans l'environnement - Terminologie 2

2. **LE MODÈLE D'EXPOSITION** 4

Qu'est-ce que l'exposition? 4

Qu'est-ce qu'un trajet d'exposition? 4

Quel est le rapport entre la dose et la réponse? 6

3. **ESTIMATION DE L'EXPOSITION AUX PRODUITS CHIMIQUES** 9

Quelle est la dose journalière estimée (DJE)? 9

Qu'est-ce que la dose journalière tolérable (DJT)? 10

Qu'appelle-t-on dose spécifique aux risques (DSR)? 11

De quelle manière la DJE se compare-t-elle à la DJT ou à la DSR? 12

4. **ESTIMATION DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT IONISANT** 14

Quelle est la différence entre les évaluations d'exposition au rayonnement et celles d'exposition aux produits chimiques? 14

De quelle manière le rayonnement est-il mesuré? 14

Quelles sont les limites recommandées à l'exposition aux rayonnements? 16

5. **MÉTHODE ÉTAPE PAR ÉTAPE POUR ESTIMER L'EXPOSITION AUX CONTAMINANTS ENVIRONNEMENTAUX** 17

6. **DOSE JOURNALIÈRE ESTIMÉE POUR LES PRODUITS CHIMIQUES : ÉQUATIONS ET EXEMPLES** 18

Hypothèses et déductions 18

Les facteurs d'exposition 18
Estimation de l'exposition provenant de la pollution de l'air 20
Estimation de l'exposition par ingestion d'eau 22
Estimation de l'exposition par ingestion de sol 24
Estimation de l'exposition par ingestion d'aliments 26
Estimation des doses d'exposition par la peau (eau et sol) 29
Dose d'exposition lors du contact de l'eau contaminée avec la peau 29
Dose d'exposition lors du contact de sol contaminé avec la peau 32
Calcul de la dose journalière estimée (DJE) 35
Comparaison de la DJE à la DJT ou à la DSR 36
Une autre façon d'appuyer vos résultats 37

7. DOSE ESTIMÉE POUR LE RAYONNEMENT IONISANT : ÉQUATIONS ET EXEMPLES 38

Facteurs d'exposition 38
Estimation de l'exposition au rayonnement par inhalation d'air 39
Estimation de l'exposition au rayonnement par ingestion d'eau 40
Estimation de l'exposition au rayonnement par ingestion de sol 41
Estimation de l'exposition au rayonnement par ingestion d'aliments 42
Calcul de la dose estimée (DE) pour le rayonnement ionisant 44
Comparaison de la DE avec les limites d'exposition au rayonnement 45

8. QUE FAITES-VOUS ENSUITE? 46

Avant de passer à l'étape suivante 46
Que doit-on faire ensuite? 46

102-01264/

TABLEAUX

TABLEAU 1 : Valeurs recommandées pour la dose journalière d'air, d'eau et de sol 48

TABLEAU 2 : Valeurs recommandées pour le poids corporel et la surface corporelle 49

TABLEAU 3 : Consommation moyenne de divers groupes d'aliments par les Canadiens, d'après l'enquête Nutrition Canada 50

TABLEAU 4 : Constantes de perméabilité (P) pour des composés sélectionnés, exposition de la peau à l'eau 51

TABLEAU 5 : Facteurs de biodisponibilité (FB) pour composés sélectionnés, exposition de la peau au sol 52

TABLEAU 6 : Doses journalières tolérables et doses spécifiques aux risques pour des contaminants sélectionnés 53

TABLEAU 7 : Facteurs de conversion de dose (FCD) pour des radionucléides sélectionnés 54

TABLEAU 8 : Critères provisoires d'évaluation des sols et de l'eau 55

GLOSSAIRE **58**

RÉFÉRENCES **60**

RESSOURCES **61**

1. Gouvernement fédéral 61

2. Gouvernement provincial (Ontario) 61

3. Administration municipale 62

4. Établissements d'enseignement supérieur 63

5. Agences et associations 63

BASES DE DONNÉES EN DIRECT **65**

1. AU SUJET DE CE MANUEL

Pourquoi ce manuel a-t-il été mis au point?

Au cours de ces dernières années, nous avons constaté une augmentation considérable de l'intérêt manifesté par la population au sujet des questions environnementales et de la façon dont la santé pouvait être affectée par l'environnement. Les professionnels de la santé, qui doivent répondre à la demande du public, ont besoin d'un plus grand nombre d'outils pour évaluer les risques posés par les contaminants de l'environnement au sein des collectivités. D'autre part, le public tient à savoir de quelle manière ces évaluations sont effectuées.

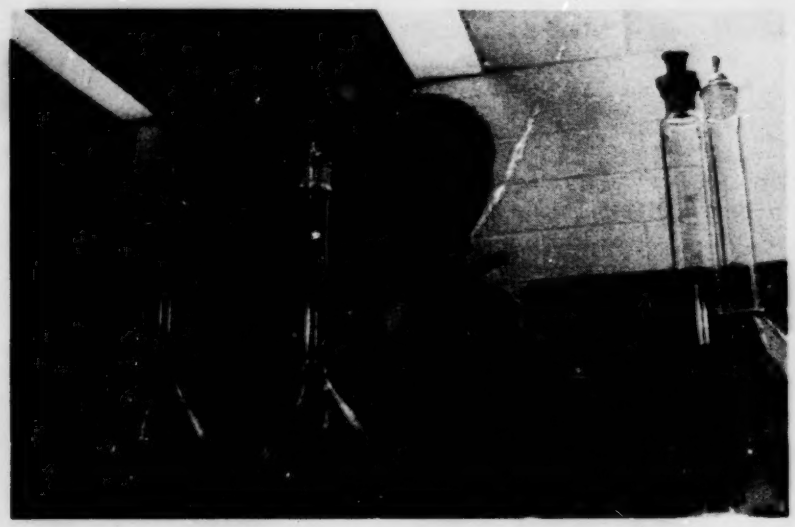
Radionucléide

Un nucléide instable (noyau d'un atome) qui subit une détérioration radioactive spontanée, émettant par la même occasion un rayonnement ionisant et se transformant éventuellement d'un élément en un autre.

Ce manuel décrit un processus étape par étape pour calculer les expositions aux **produits chimiques** et aux **radionucléides** que l'on retrouve dans l'environnement. Les méthodes présentées dans ce manuel peuvent être utiles aux professionnels de la santé appelés à réaliser des évaluations d'exposition. Ces mêmes renseignements peuvent aussi aider le public à comprendre le processus ainsi que les méthodes généralement utilisées pour réaliser les évaluations d'exposition.

Que renferme ce manuel?

Ce manuel offre les renseignements techniques nécessaires pour calculer l'exposition aux contaminants environnementaux. Il comprend une brève description du modèle d'exposition et de la méthode générale dont on se sert pour estimer l'exposition aux contaminants. On y retrouve aussi des équations utilisées pour calculer l'exposition, ainsi que des exemples précis montrant la façon dont ces calculs sont réalisés. Pour résoudre les équations, il est nécessaire de disposer de diverses mesures et valeurs. Étant donné que l'ensemble de toutes ces valeurs risque de ne pas être disponible dans votre situation précise, nous avons inclus dans ce manuel des tableaux des valeurs standard que vous pourrez substituer aux valeurs manquantes.



De quelle manière peut-on interpréter les résultats?

Que pouvez-vous faire avec les résultats des calculs décrits dans ce manuel? Tout d'abord, vos résultats permettront d'identifier les trajets d'exposition importants pour chacun des contaminants qui pourraient causer des préoccupations dans votre collectivité. La connaissance de ces trajets d'exposition est en effet utile pour concevoir des stratégies

visant à réduire l'exposition. Les résultats des calculs d'exposition peuvent aussi permettre de déterminer si des études détaillées s'imposent avant que des mesures ne soient prises pour réduire l'exposition.

Mise en garde

Lors du calcul de l'exposition des gens aux contaminants de l'environnement, on utilise de nombreuses hypothèses et de nombreux jugements. Certains d'entre eux comprennent l'utilisation de valeurs moyennes pour le poids corporel, la quantité d'aliments et d'eau consommés, la quantité d'air respiré et le nombre de fois que l'exposition aux contaminants se produit au cours d'une existence. Certains groupes réalisant les mêmes calculs peuvent utiliser des hypothèses différentes ou posséder plus ou moins de renseignements pour effectuer leurs calculs. En conséquence, les résultats obtenus par un groupe ou un service donné peuvent différer des résultats obtenus par d'autres.

Ce manuel n'a aucunement l'intention de remplacer l'expertise professionnelle. Il cherche plutôt à décrire une approche générale qui peut être utilisée pour estimer l'exposition aux contaminants environnementaux. Si vous désirez calculer les expositions à l'intérieur de votre collectivité, il est important de consulter les professionnels chaque fois que vous éprouverez des doutes durant la collecte ou l'analyse des données, au moment de tirer des conclusions ou de formuler des recommandations.

Unités de mesure pour les contaminants dans l'environnement - Terminologie

On peut exprimer les concentrations de produits chimiques et de radionucléides de nombreuses façons en utilisant différentes unités de mesure. Lors du calcul de l'exposition, on peut avoir besoin de convertir les unités de mesure des concentrations de contaminant en une autre unité.

Dans les *liquides* tels que l'eau, les contaminants chimiques sont plus souvent exprimés en milligrammes par litre (mg/L) ou en microgrammes par litre (µ/L). Un milligramme équivaut à mille microgrammes. De la même manière, les concentrations d'activités de radionucléides sont exprimées en becquerels par litre (*Bq*/L). Dans *le sol, les aliments et autres solides*, les niveaux de contaminants chimiques sont généralement exprimés en milligrammes par kilogramme (mg/kg) tandis que les concentrations d'activités de radionucléides sont exprimées en becquerels/kilogramme (*Bq*/kg). Les concentrations de produits chimiques et de particules dans *l'air* sont généralement exprimées en milligrammes ou microgrammes par mètre cube (mg/m³, µ/m³) ou en becquerels par mètre cube (*Bq*/m³) pour ce qui concerne l'activité de radionucléide. À l'occasion, les unités pour les concentrations de produits chimiques et de radionucléide dans l'eau, le sol, les aliments et l'air sont exprimées en parties par million (ppm), parties par milliard (ppb), parties par billion (ppt) ou parties par quatrillion (ppq). La relation des diverses expressions de concentration est indiquée à la page ci-contre.

Les éléments radioactifs (radionucléides) se détériorent ou se décomposent en substances plus légères. Durant cette décomposition, ils émettent de l'énergie que l'on appelle rayonnement ionisant. Plus la décomposition est importante, plus le rayonnement est grand. L'énergie dégagée durant la décomposition radioactive se fait sous forme de rayonnement alpha, bêta ou gamma. L'activité d'un radionucléide est une mesure de son taux de dégradation. Le becquerel (Bq) est l'unité du système international (S.I.) pour mesurer une telle activité. L'ancienne unité de mesure était le curie (Ci). Un curie est égal à 3,7 x 10^{10} becquerels.

UNITÉS DE BASE

g (gramme)		µg (microgramme)	= 10^{-6} gramme
kg (kilogramme)	= 10^{3} gramme	ng (nanogramme)	= 10^{-9} gramme
mg (milligramme)	= 10^{-3} gramme	pg (picogramme)	= 10^{-12} gramme

L'unité de base de l'activité de radionucléide est le becquerel (*Bq*).

SOL ET EAU

Unités métriques dans les liquides*	Équivalents en parties par unité				Unités métriques dans les solides*
	ppm	ppb	ppt	ppq	
1 g/L	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}	1 g/kg
1 mg/L	1	10^{3}	10^{6}	10^{9}	1 mg/kg
1 µg/L	10^{-3}	1	10^{3}	10^{6}	1 µg/kg
1 ng/L	10^{-6}	10^{-3}	1	10^{3}	1 ng/kg
1 pg/L	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1	1 pg/kg

* La concentration d'activité de radionucléide est généralement exprimée en *Bq*/L dans les liquides et en *Bq*/kg dans les solides.

AIR

Conversion de ppm dans l'air à son équivalent en µg/m³

La conversion des valeurs de contaminants dans l'air de ppm en µg/m³ n'est pas aussi simple que les conversions similaires dans l'eau ou le sol. Dans ce cas, la conversion dépend du poids atomique moléculaire du contaminant. Les poids atomiques se retrouvent dans la plupart des manuels de chimie. Pour convertir de ppm en µg/m³ dans l'air, l'équation suivante doit être utilisée :

Concentration de contaminant (µg/m³) = Concentration de contaminant (ppm) x poids moléculaire du contaminant x 40,9

EXEMPLE : Convertir le polluant ozone, à 0,08 ppm dans l'air, à son équivalent en µg/m³ . Le poids moléculaire de l'ozone est 48.

Concentration de contaminant (µg/m³) = 0,08 ppm x 48 x 40,9
= 157 µg/m³

157 µg/m³ d'ozone équivaut à 0,08 ppm d'ozone

La concentration d'activité de radionucléide dans l'air est généralement exprimée en *Bq*/m³.

2. LE MODÈLE D'EXPOSITION

Qu'est-ce que l'exposition?

L'exposition est tout contact entre une substance et un individu qui a touché, respiré les poussières ou les vapeurs, ou avalé le produit ou le liquide provenant d'une source contaminée. Les contaminants doivent suivre des trajets à partir du point d'évacuation dans l'environnement jusqu'au point de contact avec les êtres humains pour qu'une exposition ait lieu.

Qu'est-ce qu'un trajet d'exposition?

Un **trajet d'exposition** décrit comment un contaminant se déplace dans l'environnement depuis sa source jusqu'aux êtres humains ou d'autres organismes vivants. Un trajet d'exposition comprend les cinq éléments suivants :

- Source de contamination;
- Milieu environnemental;
- Point d'exposition;
- Personne ou population réceptrice;
- Voie d'exposition.

La source de contamination

Les sources de contaminants environnementaux sont nombreuses et elles varient d'une collectivité à l'autre. Elles peuvent comprendre les émissions des voitures, les émanations provenant des cheminées, les eaux usées sortant des usines et des moulins, les sites d'enfouissement des déchets, les usines et les sites d'entreposage fermés, les produits de consommation (p. ex., peintures, produits de nettoyage domestiques) et d'autres sources nombreuses, tant à l'intérieur qu'en plein air. Un certain nombre de substances sont aussi émises dans l'atmosphère à partir de sources naturelles.

Le médium environnemental

Une fois évacué de sa source, un contaminant se déplacera à travers le milieu environnemental jusqu'aux points où une exposition humaine peut avoir lieu. Chez les êtres humains, les principaux milieux environnementaux comprennent l'eau, l'air, les aliments et le sol :

i. L'EAU

Eau souterraine (eau située sous le sol, et provenant des aquifères et des puits)

- l'eau potable des puits (municipaux ou domestiques), les bains, les douches;
- l'utilisation industrielle, agricole ou récréative de l'eau souterraine;
- utilisation à des fins récréatives ou à d'autres fins des sources naturelles et avens.

Eau de surface (eau des lacs, des rivières et des étangs)

- eau potable (municipale ou domestique), eau pour le bain et la douche;
- eau pour les activités récréatives telles que la navigation, le canotage et la natation;
- eau pour usage industriel ou agricole.

ii. L'AIR

- l'air intérieur, y compris la qualité de l'air à la maison, au travail et à l'école;
- l'air extérieur;
- les gaz contaminants provenant de la production industrielle et autres processus (p. ex., émissions des voitures, chauffage des maisons).

iii. LES ALIMENTS

- aliments arrosés avec de l'eau contaminée ou poussant dans des endroits où le sol est contaminé. Cela pourrait comprendre des aliments destinés à la consommation personnelle;
- poissons et animaux contaminés;
- aliments contenant des résidus de pesticides;
- aliments emballés dans des contenants qui contaminent le contenu, p. ex., boîtes de conserve soudées au plomb utilisées dans certains produits importés;
- le lait maternel (pour les bébés nourris au sein) lorsque la mère a été exposée à des produits chimiques qui s'accumulent dans la graisse des tissus (le lait maternel a une forte teneur en graisse).

iv. LE SOL

- sol nu (exposition des travailleurs au sol, sol avalé ou contact de la peau avec le sol);
- sol contaminé dispersé sous forme de poussière dans l'air et particules déposées sur d'autres surfaces (comme les aliments);
- sol situé sous la surface (travailleurs oeuvrant dans l'excavation et le creusage);
- sédiments contaminés au fond des lacs, des rivières et des étangs.

Point d'exposition

Le point d'exposition est l'emplacement où se produit le contact avec un contaminant. Par exemple, les gens peuvent être exposés aux contaminants à la maison, au travail, au terrain de jeu, sur un lac, dans une rivière ou autre étendue d'eau.

Personne ou population réceptrice

La personne ou la population réceptrice est celle qui est exposée au contaminant au point d'exposition. Par exemple, les nageurs peuvent être exposés en se baignant dans une rivière contaminée; les pêcheurs peuvent être exposés en consommant des poissons contaminés.

Voies d'exposition

Une **voie d'exposition** est la façon dont le contaminant pénètre dans le corps de l'être humain. Il existe trois voies par lesquelles les êtres humains peuvent être contaminés. Celles-ci comprennent :

i. Ingestion

- Le fait d'avaler quelque chose qui contient le contaminant. Cela peut comprendre les aliments, l'eau, les petites quantités de sol, et l'ingestion accidentelle d'objets ou d'autres liquides contenant le contaminant. La bouche, la gorge, l'estomac et les intestins peuvent absorber rapidement certains produits ingérés.

ii. Inhalation

- Le fait de respirer une substance sous forme de gaz ou de vapeur, ou de particules aéroportées. Cela comprend de petites quantités de sol et de poussière qui peuvent être inhalées par les poumons. Les poumons absorbent souvent, d'une façon rapide et efficace, les gaz et les vapeurs.

iii. Contact avec la peau

- Certains contaminants dans l'eau, le sol et l'air peuvent être absorbés par la peau.

En plus des trois voies d'exposition ci-dessus, l'exposition au rayonnement ionisant (provenant des radionucléides du sol, de l'air, ou des sources de rayonnement à l'extérieur du corps) peut aussi se produire par irradiation externe directe.

Les éléments d'un trajet d'exposition sont illustrés à la FIGURE 1.

Quel est le rapport entre la dose et la réponse?

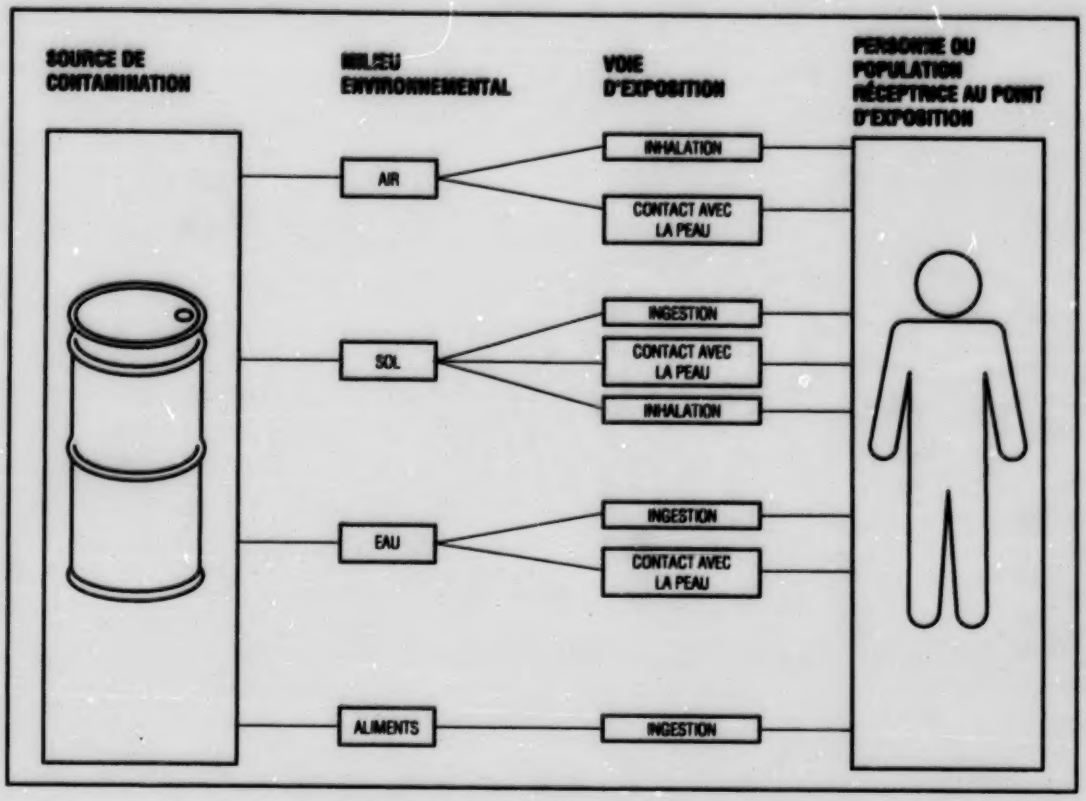
Le rapport qui existe entre la quantité de contaminant administrée (la dose) et l'effet sur la santé (la réponse) est appelé la relation dose-réponse. La relation dose-réponse est généralement déterminée au cours d'expériences en laboratoire utilisant des animaux et, dans certains cas, à la suite des résultats d'études épidémiologiques sur les êtres humains.

Pour la plupart des contaminants, aucun effet néfaste pour la santé ne peut être observé lorsque la dose descend en dessous d'un certain niveau. Ce niveau est appelé dose seuil. On ne peut pas savoir d'une façon conclusive si des effets néfastes pour la santé se produisent ou non en dessous du seuil, en raison des limites des études toxicologiques.

Si l'on se fie aux connaissances sur la façon dont se développe le cancer, on tient généralement pour acquis que les contaminants causant le cancer

FIGURE 1:

Principaux trajets d'exposition des êtres humains aux contaminants environnementaux

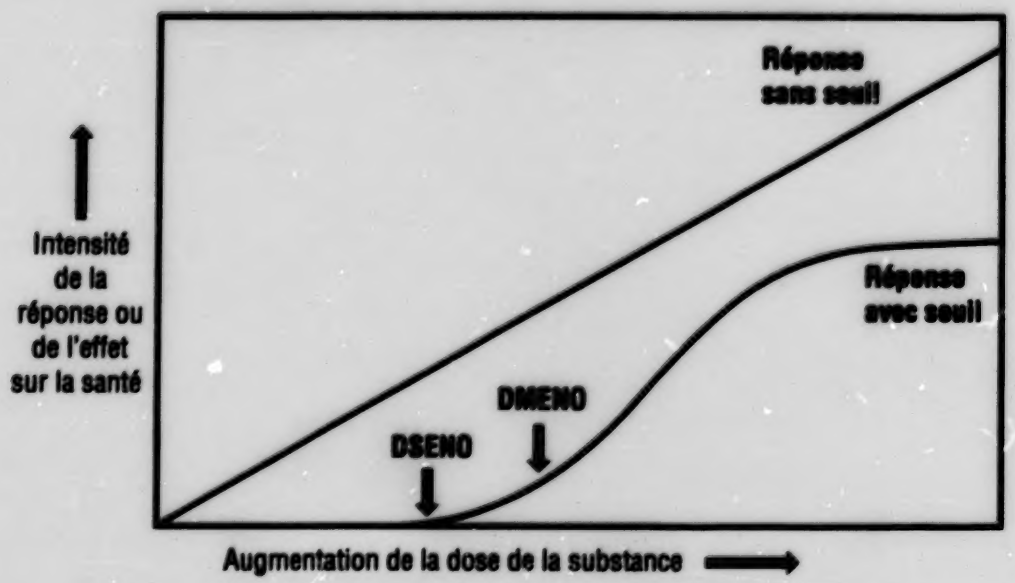


(cancérogènes) peuvent le faire, même à de très faibles niveaux d'exposition. En d'autres termes, on suppose que la plupart des cancérogènes n'ont pas de dose seuil. Une relation dose-réponse typique pour les cancérogènes est illustrée par la ligne droite intitulée «réponse sans seuil» à la FIGURE 2.

Pour les effets sur la santé autres que le cancer, on prend pour acquis que les effets sur la santé ne se produisent pas lorsque la dose de contaminant descend en dessous d'un certain seuil. Une relation dose-réponse typique pour de tels contaminants est illustrée par la ligne courbe intitulée «réponse avec seuil» à la FIGURE 2.

FIGURE 2:

Relation dose-réponse



DSENO - Dose sans effet nocif observé - Le niveau d'exposition à un produit chimique au quel aucun effet nocif n'a été observé durant les études avec des animaux de laboratoire ou au cours des études épidémiologiques chez les êtres humains.

DMENO - Dose minimale avec effet nocif observé - Le niveau le plus bas d'exposition à un produit chimique auquel des effets nocifs sont observés durant les études avec des animaux de laboratoire ou au cours des études épidémiologiques chez les êtres humains.

3. ESTIMATION DE L'EXPOSITION AUX PRODUITS CHIMIQUES

Quelle est la dose journalière estimée (DJE)?

Nous sommes tous exposés à un faible niveau de contamination dans l'air que nous respirons, dans les aliments que nous consommons et dans l'eau que nous buvons. La dose journalière estimée (DJE) pour un contaminant chimique représente l'exposition totale à partir de tous les trajets d'exposition connus ou soupçonnés pour une personne moyenne. Des exemples sur la façon de calculer la DJE sont donnés à la section 6 - Dose journalière estimée : équations et exemples.

CALCUL DE LA DOSE JOURNALIÈRE ESTIMÉE

On peut calculer la dose journalière estimée (DJE) d'un produit chimique en additionnant toutes les expositions d'un polluant provenant des divers trajets d'exposition. La DJE d'un contaminant peut être représentée par l'équation suivante :

$$DJE = DE_i + DE_e + DE_s + DE_a + DE_{ae} + DE_{as}$$

Chaque DE (dose estimée) est la quantité de contaminant absorbée par une combinaison différente de trajets d'exposition et de voies d'exposition. À savoir :

DE_i est la quantité inhalée dans l'air,

DE_e est la quantité ingérée en buvant de l'eau,

DE_s est la quantité ingérée en mangeant du sol,

DE_a est la quantité ingérée avec les aliments,

DE_{ae} est la quantité absorbée par le contact de la peau avec l'eau,

DE_{as} est la quantité absorbée par le contact de la peau avec le sol.

Pour calculer la quantité estimée de contaminant absorbé par toutes ces combinaisons de trajets et voies d'exposition, on a besoin d'une équation différente pour chaque combinaison. Toutefois, toutes les équations sont quelque peu similaires. L'équation générale pour chaque dose estimée est la suivante :

$$DE = \frac{C \times TC \times FE}{PC}$$

dans laquelle,

DE = Dose estimée : Cela représente généralement le nombre de milligrammes de contaminant qui pénètre dans le corps pour chaque kilogramme de poids corporel (mg / kg / jour).

C = Concentration du contaminant dans le trajet d'exposition envisagé.

TC = Taux de contact : La quantité d'eau, d'aliments, d'air, etc., avalée, inhalée ou entrée en contact avec la peau en une journée. Les unités types pour les aliments consommés sont les grammes par jour (g / jour).

FE = Facteur d'exposition : Ce chiffre indique combien de fois la personne est exposée au cours d'une année et le nombre d'années durant lesquelles cette situation s'est répétée. Ce facteur est nécessaire, particulièrement lorsque l'exposition ne se produit pas chaque jour, comme c'est le cas dans les expositions au travail (seulement cinq jours par semaine) ou les expositions reliées à des activités saisonnières (natation en été dans de l'eau contaminée).

PC = Poids corporel : Le poids corporel moyen d'une personne en kilogrammes (kg).

Qu'est-ce que la dose journalière tolérable (DJT)?

La dose journalière tolérable (DJT) est une estimation de la quantité de produits chimiques non cancérogènes auxquels les êtres humains peuvent être exposés chaque jour pendant toute leur vie, sans que leur santé soit menacée. La DJT peut aussi s'appliquer aux effets non cancérogènes des produits chimiques qui causent le cancer. Celle-ci s'exprime généralement en milligrammes de produits chimiques par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour). L'expression «dose journalière acceptable» (DJA) est aussi utilisée à la place de DJT. Toutefois, les deux expressions décrivent la même valeur.

Les DJT pour les êtres humains sont généralement basées sur des études réalisées sur des animaux de laboratoire. Au cours de ces études, les chercheurs ont établi ce que l'on appelle Dose sans effet nocif observé *(DSENO)*, lorsque les concentrations du produit chimique n'entraînent pas d'effets néfastes pour la santé chez les animaux, ou Dose minimale avec effet nocif observé *(DMENO)* qui représente la concentration de contaminants la plus basse à laquelle des effets néfastes pour la santé sont observés. Ce niveau est alors divisé par un facteur d'incertitude (FI) pour calculer la DJT. Selon l'exhaustivité des études, la confiance avec laquelle les chercheurs appliquent leurs conclusions aux êtres humains et les effets nocifs que la substance en question peut causer, le facteur d'incertitude peut varier entre 10 et plusieurs milliers.

$$\text{DJT} = \frac{\text{DSENO (DMENO)}}{\text{FI}}$$

Les DJT sont utilisées par les gouvernements pour établir les directives à respecter pour protéger la santé des êtres humains contre les effets possibles pour la santé des contaminants de l'environnement. Ces directives sont revues et étudiées périodiquement, particulièrement dans les cas où l'on a obtenu de nouveaux renseignements scientifiques. À la suite de nouveaux renseignements, ou de nouveaux moyens pour estimer la *DSENO*, la *DMENO* et le FI, différents gouvernements peuvent établir des niveaux différents de dose journalière tolérable.

LE FACTEUR D'INCERTITUDE

Le facteur d'incertitude (FI), connu aussi sous le nom de facteur de sécurité, est le reflet de l'incertitude reliée aux diverses données scientifiques utilisées pour estimer la DJT. Un facteur d'incertitude de 10 est utilisé lorsque les DJT sont basées sur des études épidémiologiques d'une exposition prolongée d'êtres humains en bonne santé ou lorsque l'on sait qu'aucun effet néfaste grave ne s'est produit. Ce facteur tient compte de la différence au niveau de la sensibilité des gens aux contaminants. Si la DJT n'est pas basée sur des études d'une exposition prolongée des êtres humains, ce FI de base (de 10) est multiplié par un autre 10 pour chacune des conditions suivantes qui peuvent s'appliquer :

- Lorsque les DJT sont basées sur des études expérimentales utilisant une exposition à long terme sur des animaux de laboratoire. Ce facteur explique l'incertitude qui prévaut lorsque l'on applique aux humains des données relatives aux animaux.
- Lorsque les DJT sont établies en fonction d'études scientifiques faites sur des animaux et dont les expositions aux contaminants se sont avérées plus courtes. Ce facteur explique l'incertitude en extrapolant à partir d'expositions à court terme vers des expositions à long terme.
- Lorsque les DJT sont basées sur une *DMENO* au lieu d'une *DSENO*. Ce facteur explique l'incertitude lors du calcul des *DSENO* à partir des *DMENO*.
- Un facteur d'incertitude supplémentaire (jusqu'à 10, et dans certains cas, plus de 10) peut être appliqué selon la gravité des effets néfastes pour la santé qui ont été observés.

Qu'appelle-t-on dose spécifique aux risques (DSR)?

Nous devons utiliser une approche différente de la dose journalière tolérable pour les contaminants dont les propriétés cancérogènes sont connues. Cela est dû au fait qu'il risque de ne pas y avoir de niveau d'exposition à ces contaminants ne présentant pas de dangers pour la santé. Dans ces cas, un «risque zéro» peut seulement être réalisé en éliminant toute exposition possible pour les êtres humains. Toutefois, cela est impossible dans le cas de nombreux contaminants tels que les cancérogènes qui se produisent naturellement et dont la présence peut être très répandue dans l'environnement. En conséquence, il est préférable de réduire l'exposition aux cancérogènes au niveau le plus bas possible, tout en reconnaissant qu'une exposition «zéro» (ou nulle) est impossible.

Pour de telles substances, l'on doit prendre une décision quant à l'importance du risque de cancer qui peut être acceptable, de façon à établir des niveaux de dose acceptables. Divers niveaux acceptables de risques sont actuellement utilisés dans le monde, compte tenu de circonstances précises. Ces niveaux varient souvent entre un décès supplémentaire par cancer par 10 000 personnes exposées (1×10^{-4}) au contaminant au cours d'une existence entière, jusqu'à un cas de décès supplémentaire par cancer par million de personnes exposées (1×10^{-6}).

Une fois qu'un niveau de risque acceptable (R) a été établi, il est divisé par un facteur (connu sous le nom d'indice de la pente : IP), déterminé à partir des résultats de laboratoire et des études épidémiologiques, pour obtenir une dose spécifique aux risques (DSR). La dose spécifique aux risques est la quantité de contaminant à laquelle les gens peuvent être exposés sur une base journalière, durant toute leur existence, et qui ne dépassera pas le niveau accepté de risque de cancer. Cette dose est généralement exprimée en milligrammes de produits chimiques par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).

$$DSR = \frac{R}{IP}$$

Exemple: Calculer la dose spécifique aux risques (DSR) d'un contaminant cancérogène connu. L'indice de la pente* (IP) pour ce contaminant est de $4{,}3 \times 10^{-3}$ $(mg/kg/jour)^{-1}$ et le niveau accepté de risque (R) est d'un décès supplémentaire par cancer par an par million de gens exposés (10^{-6}).

$$DSR = \frac{1 \times 10^{-6}}{4.3 \times 10^{-3}\ (mg/kg/jour)^{-1}}$$

$$= 2.3 \times 10^{-4}\ mg/kg/jour$$

* *Des indices de la pente (IP) peuvent être obtenus à partir des bases de données toxicologiques offertes en direct par des organismes tels Integrated Risk Information System (IRIS). On peut obtenir ces bases de données en s'adressant à «United States Environmental Protection Agency». Le registre IRIS contient des renseignements sur les règlements touchant plus de 400 produits chimiques et d'autres entrées sont ajoutées chaque année à la base de données. IRIS est offert en format disque pour utilisation sur micro-ordinateurs.*

De quelle manière la DJE se compare-t-elle à la DJT ou à la DSR?

Une fois la DJE calculée pour un contaminant, elle est comparée à la DJT ou à la DSR, selon qu'il s'agit d'un produit non cancérogène ou d'un cancérogène. En règle générale, si la DJT ou la DSR est dépassée, l'exposition aux contaminants constitue un problème potentiel pour la santé. Dans certains cas, des renseignements médicaux ou toxicologiques supplémentaires peuvent indiquer que les expositions dépassant la DJT ou la DSR ne constituent pas un problème pour la santé. Dans d'autres cas, les expositions inférieures à la DJT ou à la DSR pourraient constituer une source de préoccupation pour la santé, en raison des interactions entre les produits chimiques ou parce que certains individus dans la population exposée sont plus sensibles. En conséquence, on devra tenir compte du fait que la DJT et la DSR sont des estimés d'expositions auxquels des effets néfastes ne devraient, en principe, pas se produire dans le cas de la majorité de la population. Elles ne décrivent pas un niveau auquel nous sommes absolument certains qu'aucun risque pour la santé ne se produira chez aucun individu. Les DJT et les DSR pour un certain nombre de contaminants environnementaux sont indiquées au TABLEAU 6.

COMPARAISON DE LA DJE À LA DJT OU À LA DSR

Non cancérogènes

- Si la DJE est bien en dessous de la DJT, elle indique que l'exposition à ce contaminant ne pose vraisemblablement pas de risque important à la santé des êtres humains.
- Au fur et à mesure que la DJE se rapproche du niveau de la DJT, les préoccupations concernant le risque pour la santé des êtres humains augmentent.
- Si la DJE est au-dessus de la DJT, c'est que l'exposition ou le risque potentiel pour la santé des gens peut être important. Des mesures s'imposent pour réduire l'exposition.

Cancérogènes

- Si la DJE est bien en dessous de la DSR, elle indique que le risque de cancer dû à l'exposition à ce contaminant est minime pour cette situation.
- Au fur et à mesure que la DJE se rapproche de la DSR, les préoccupations concernant le risque à la santé des êtres humains augmentent.
- Si la DJE est au-dessus de la DSR, c'est que l'exposition ou le risque potentiel pour la santé des gens peut être important. Des mesures s'imposent pour réduire l'exposition.

Quelle est la différence entre les évaluations d'exposition au rayonnement et celles d'exposition aux produits chimiques?

Les calculs d'exposition au rayonnement ionisant sont traités d'une façon quelque peu différente des contaminants chimiques. Étant donné que les effets de l'exposition au rayonnement sont bien compris, les experts en rayonnement expriment la dose en une unité appelée sievert (*Sv*), qui est une mesure des effets néfastes qui peuvent être causés chez un être humain exposé à un rayonnement ionisant provenant d'une source de rayonnement. Contrairement aux contaminants chimiques, c'est l'exposition totale de toutes les sources qui est contrôlée, plutôt que l'exposition à partir de radionucléides individuels. Et ce pour la simple raison que c'est l'exposition totale qui détermine le risque pour la santé.

De plus, le taux de dose est exprimé sur une base annuelle, plutôt que sur une base journalière. Cette dose est calculée de façon à inclure toute irradiation **externe** directe reçue durant l'année, et la dose qui continuera à être reçue d'une façon **interne** à partir de tous les radionucléides ingérés ou inhalés au cours de l'année courante. La période au cours de laquelle l'on calcule cette dose prolongée, due au rayonnement interne, a été normalisée à 50 ans pour des expositions chez les adultes (âgés de 18 ans et plus) et 70 ans pour les expositions chez les enfants (âgés de moins de 18 ans). Contrairement au cheminement adopté pour les contaminants chimiques, cette technique tient compte de la dose du rayonnement qui continuera à être reçue à partir des radionucléides conservés dans le corps.

De quelle manière le rayonnement est-il mesuré?

On peut mesurer l'irradiation **externe** directement en utilisant les instruments appropriés. Pour pouvoir calculer la dose **interne** prolongée, des facteurs de conversion sont nécessaires, de façon à convertir la quantité de radionucléides apportés dans le corps, en becquerels, en une dose en sieverts, ou en millisieverts (*mSv*). Ces facteurs de conversion de dose (FCD) ont été calculés par le Conseil national de la protection contre le rayonnement (CNPR). Les FCD existent pour tous les radionucléides et, en conséquence, il est possible de calculer la dose totale qui sera reçue de tous les radionucléides apportés dans le corps au cours d'une année. C'est cette dose totale qui est importante, plutôt que la dose pour un radionucléide en particulier.

Calcul de la dose estimée d'exposition au rayonnement ionisant

On peut calculer la dose estimée (DE) pour l'exposition au rayonnement ionisant en additionnant toutes les expositions reçues au cours d'une année à partir de divers trajets d'exposition et on peut la représenter par l'équation suivante :

$$DE = DE_{externe} + DE_{interne}$$
$$= DE_{externe} + DE_{i} + DE_{e} + DE_{s} + DE_{a}$$

$DE_{externe}$ est l'irradiation externe directe reçue au cours d'une année. $DE_{interne}$ est la dose qui sera reçue au cours des 50 années suivantes (adultes) ou 70 années (enfants), à partir de tous les radionucléides reçus dans le corps au cours de l'année courante, en particulier :

DE_{i} est la dose engagée estimée provenant des radionucléides inhalés dans l'air,

DE_{e} est la dose engagée estimée provenant des radionucléides ingérés en buvant de l'eau,

DE_{s} est la dose engagée estimée provenant des radionucléides ingérés en mangeant du sol,

DE_{a} est la dose engagée estimée provenant des radionucléides ingérés en mangeant des aliments.

Pour calculer la dose engagée estimée à partir des radionucléides internes, on utilise une équation de la forme générale suivante pour chaque radionucléide et pour chaque trajet d'exposition :

$$DE_{x} = C \times TR \times TC \times FE \times FCD$$

dans laquelle,

DE_{x} = Dose engagée estimée sur 50 ans (adultes) ou 70 ans (enfants) à partir d'un radionucléide précis apporté dans le corps au cours de l'année courante (*Sv*) à partir d'un trajet d'exposition spécifique «x» (inhalation de l'air et ingestion de l'eau, du sol ou des aliments.)

C = Concentration du radionucléide dans le trajet d'exposition envisagé (p. ex. *Bq/L* pour les radionucléides dans l'eau.

TC = Taux de contact : La quantité d'eau, d'aliments, d'air, etc., prise dans le corps en une seule journée. Les unités types pour les aliments sont les grammes par jour (g/jour) et les litres par jour (L/jour) pour l'eau.

FC = Facteur de conversion : Le facteur de 365 jours est nécessaire pour convertir le taux de contact (TC) à partir des unités/jour en unités/année.

FE = Facteur d'exposition : Ce facteur indique combien de fois la personne est exposée au cours de l'année. Ce facteur est nécessaire, particulièrement lorsque l'exposition ne se produit pas chaque jour, comme c'est le cas au travail (seulement cinq jours par semaine) ou lorsque l'exposition est reliée à des activités saisonnières (natation en été).

FCD = Facteur de conversion de dose : Ce facteur convertit la quantité de radionucléides apportée dans le corps par inhalation ou ingestion, en becquerels, jusqu'à la dose prolongée sur 50 ans (adultes) ou 70 ans (enfants) en sieverts. Les FCD sont généralement exprimés en *Sv/Bq*.

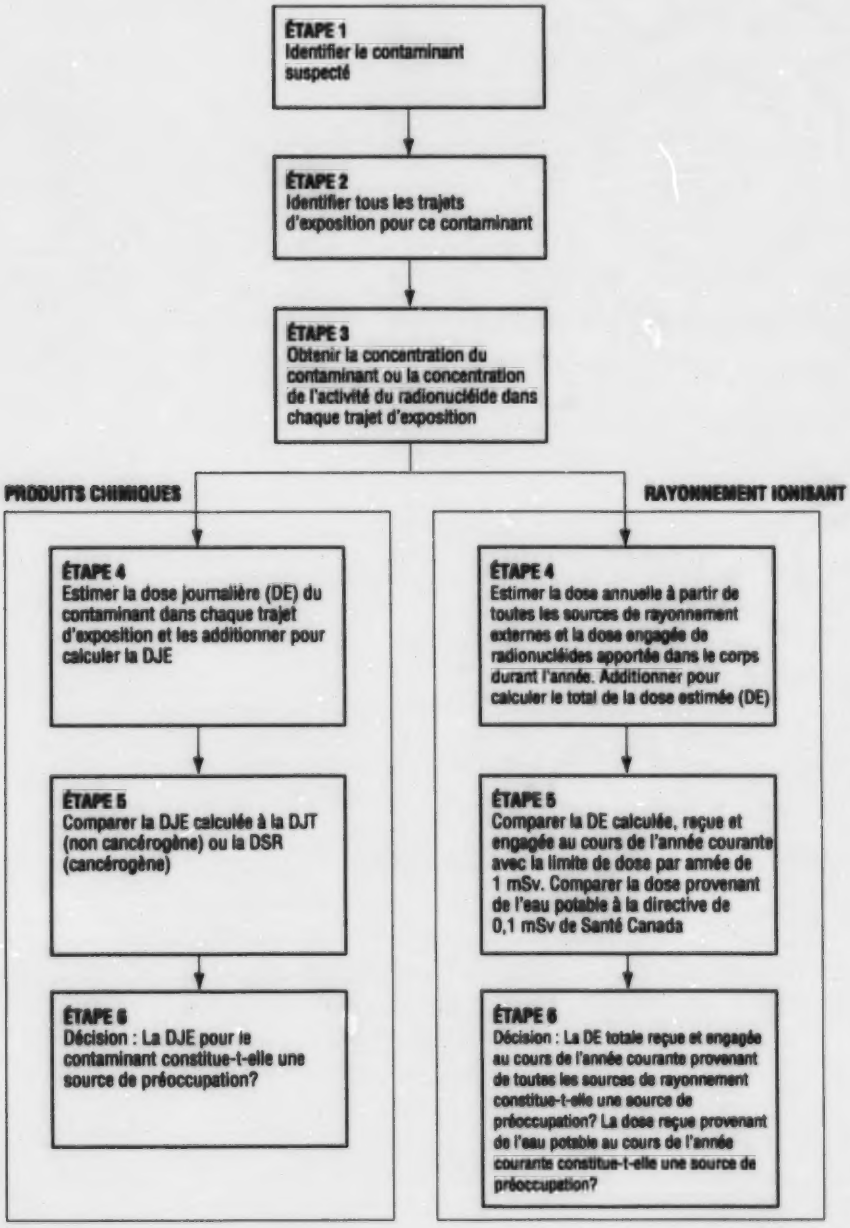
Quelles sont les limites recommandées à l'exposition aux rayonnements?

Les limites de dose pour l'exposition aux rayonnements, provenant de sources artificielles, ont été émises pour le public par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), et elles ont été établies à 1 *mSv* par an. Dans cette limite, il est implicite que les expositions doivent être maintenues à un bas niveau, et ce dans la limite du possible. Cette limite est sur le point d'être adoptée par la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada (CCEA). Elle s'applique à la dose totale reçue, provenant de toutes les sources internes et externes, mais ne comprend pas le rayonnement d'origine naturelle auquel tout le monde est exposé ni les expositions reçues à des fins médicales. Les doses réelles reçues par le public, provenant de sources artificielles, sont beaucoup plus faibles que cette limite. Les sources artificielles comprennent les niveaux de radionucléides naturels, causés par des activités humaines comme, par exemple, l'exploitation des gisements d'uranium. De plus, la dose totale sur les limites du site des installations nucléaires ne peut pas dépasser 0,05 *mSv* par an telle que stipulée par la CCEA. Par comparaison, la dose reçue à partir d'un rayonnement d'origine naturelle est d'environ 3 *mSv* par an.

Santé Canada a émis des directives concernant les radionucléides dans l'eau potable. La dose totale reçue provenant de la consommation d'eau potable ne devrait pas dépasser 0,1 *mSv* par an, et cela comprend la dose provenant de tous les radionucléides existant à l'état naturel dans l'environnement, ainsi que les radionucléides artificiels. Ce niveau de dose correspond à un risque théorique d'environ 5 décès supplémentaires par cancer par million de personnes exposées.

5. MÉTHODE ÉTAPE PAR ÉTAPE POUR ESTIMER L'EXPOSITION AUX CONTAMINANTS ENVIRONNEMENTAUX

Ce manuel met l'accent sur les étapes quatre, cinq et six - le calcul de la dose journalière estimée de produits chimiques et la dose totale estimée de rayonnements - d'après l'organigramme suivant. Pour plus de renseignements sur les étapes un à trois, consultez la publication connexe «Un guide communautaire».



6. DOSE JOURNALIÈRE ESTIMÉE POUR LES PRODUITS CHIMIQUES : ÉQUATIONS ET EXEMPLES

Dans ce chapitre, nous décrivons la manière dont vous devriez réaliser les calculs pour la dose journalière estimée d'un contaminant chimique. Nous y donnons aussi des conseils sur les valeurs à utiliser dans les équations et nous y incluons des tableaux de valeurs moyennes que vous pouvez utiliser lorsque vous ne disposez d'aucune information locale précise.

Les équations et les calculs de ce chapitre risquent d'être compliqués. Consultez un scientifique expérimenté pour obtenir de l'aide.

Hypothèses et déductions

Plusieurs déductions subjectives peuvent être effectuées lorsque l'on calcule les expositions à l'aide des nombreuses formules disponibles. Cela se produit pour la simple raison que l'on ne dispose pas de certains renseignements pour les équations, ou que les valeurs dont on dispose ne reflètent pas, d'une façon précise, les véritables variations dans des domaines tels que la concentration des contaminants dans l'air, le sol, l'eau et les aliments. Nous indiquons ci-dessous un certain nombre des hypothèses et jugements qui peuvent être faits durant une évaluation de l'exposition :

- Comment le mouvement des contaminants dans l'environnement peut-il être prévu? Par exemple, comment peut-on prévoir la façon dont les courants éoliens disperseront les polluants dans l'atmosphère?
- Comment peut-on estimer l'importance et la nature de la population risquant d'être exposée au contaminant? Les mesures d'exposition prises à partir d'un petit segment de la collectivité peuvent-elles s'appliquer à l'ensemble de la collectivité et, dans ce cas, comment cela peut-il être réalisé?
- Comment peut-on faire entrer en ligne de compte les modes d'activité des êtres humains, tels que les variations dans le régime alimentaire, le style de vie et les divertissements?
- Comment peut-on estimer les différences d'exposition au contaminant comme le rythme, la durée et l'âge, lors de la première exposition?
- Comment peut-on estimer le taux de respiration, la consommation d'eau et d'aliments, le poids corporel et la surface corporelle dans le cas d'une population qui pourrait être exposée?
- Comment peut-on estimer les expositions de certains groupes à risques spéciaux, tels que les femmes enceintes et les jeunes enfants?

Il est important que les unités de mesure utilisées dans les équations soient compatibles lors du calcul des expositions.

Étant donné que de tels jugements changent souvent les résultats d'une évaluation d'exposition, il faudra probablement faire appel aux conseils d'un professionnel avant de réaliser de tels calculs.

Les facteurs d'exposition

Le facteur d'exposition représente la valeur qui doit être calculée dans chacun des exemples suivants. Ce calcul sous-entend un jugement.

L'exposition aux contaminants peut se produire d'une façon intermittente et pas nécessairement sur une base quotidienne. Dans de tels cas, il est possible de calculer le facteur d'exposition (FE) de façon à estimer une dose moyenne

durant la période d'exposition. Le facteur d'exposition se calcule en multipliant le nombre de jours dans l'année où l'exposition se produit par le nombre d'années au cours desquelles ce mode se répète. Le chiffre est alors divisé par la période au cours de laquelle l'on doit établir la moyenne pour la dose. Par exemple, si un enfant entre en contact avec un sol contaminé trois fois par semaine sur une période de quatre ans, le facteur d'exposition devrait être calculé de la manière suivante :

$$FE = \frac{(3 \text{ jours/semaine}) \times (52 \text{ semaines/année}) \times (4 \text{ ans})}{(4 \text{ ans}) \times (365 \text{ jours/année})}$$

$$FE = 0{,}43$$

Dans cet exemple, la dose résultant d'une seule journée durant laquelle l'enfant a été exposé devrait être multipliée par 0,43 pour donner la dose quotidienne moyenne sur la période de quatre ans.

En calculant le facteur d'exposition, on doit faire preuve de discernement pour choisir la période au cours de laquelle la moyenne d'exposition est calculée. La période choisie dépend des effets prévus du contaminant sur la santé. Dans la plupart des cas, les effets prévus sur la santé seront ceux qui, comme le cancer ou la détérioration des organes, découlent d'une exposition continue à faible niveau sur une longue période. Dans de tels cas, les chercheurs établissent généralement une moyenne de toutes les expositions sur une existence de 70 ans.

Dans les cas où les enfants sont exposés à des contaminants, comme le plomb, qui peuvent affecter leur croissance, on peut choisir une période plus courte (4 à 12 ans) pour établir la moyenne d'exposition. Lors du calcul du facteur d'exposition pour un enfant, le facteur total d'exposition peut être divisé en trois parties pour permettre des changements dans le poids corporel de l'enfant, et l'on peut alors inclure dans le calcul final la consommation d'aliments, d'eau et d'air. Les chercheurs divisent généralement la vie d'un enfant en trois stades : les six premiers mois, de six mois à 5 ans et de 5 à 12 ans. Pour calculer l'exposition à vie d'un enfant, on doit calculer séparément chacune de ces périodes. Les expositions séparées sont alors additionnées. Nous montrons de quelle manière cela est réalisé dans les exemples qui suivent.

Donc, en règle générale, le calcul de la DJE nécessite la moyenne de l'exposition sur une existence de 70 ans, à moins que le contaminant puisse affecter la croissance de l'être humain dans un stade critique de l'existence comme c'est le cas pour l'enfance. Une fois encore, si vous n'êtes pas certain, consultez un expert dans le domaine de la toxicologie ou de l'épidémiologie.

Estimation de l'exposition provenant de la pollution de l'air

L'air est un trajet important pour les contaminants, et l'inhalation constitue une voie majeure d'exposition pour les contaminants qui existent sous forme de gaz atmosphériques ou restent attachés aux particules ou fibres en suspension dans l'air. Pour estimer la dose d'inhalation, il est nécessaire de disposer d'une évaluation de la quantité d'air qu'une personne respire dans une journée. Les valeurs recommandées concernant la quantité d'air inhalé par les divers groupes d'âges sont présentées au TABLEAU 1. Le sexe, l'âge et la quantité d'activités physiques d'une personne constituent les facteurs principaux qui affectent la quantité d'air respiré. D'autres facteurs qui influencent le volume d'air respiré comprennent la température, l'altitude, la teneur en pollution dans l'air et le poids de la personne, sa taille, le fait qu'elle fume ou non, et si elle a ou non souffert d'une maladie cardiaque.

Pour calculer la dose d'inhalation, on prend pour acquis que 100 % du contaminant est absorbé après contact.

La quantité de contaminants absorbés dans le corps par l'inhalation (DE_i) peut être estimée par l'équation suivante :

$$DE_i = \frac{C \times TI \times FE}{PC}$$

dans laquelle,

DE_i = Dose estimée obtenue par l'inhalation de l'air : La dose d'inhalation de l'air est exprimée en milligrammes de contaminant inhalé par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).

C = Concentration du contaminant dans l'air, en milligrammes par mètre cube d'air (mg/m^3).

TI = Taux d'inhalation : La quantité d'air qu'une personne respire dans une journée, en mètres cubes (m^3/jour). Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 1. Si l'air contaminé est respiré durant une partie de la journée seulement, le taux d'inhalation doit être ajusté en conséquence.

FE = Facteur d'exposition : Indique combien de fois la personne a été exposée au contaminant durant une existence (sans unité). Reportez-vous à la discussion précédente concernant les facteurs d'exposition.

PC = Poids corporel : Le poids moyen du corps en kilogrammes (kg) basé sur le groupe d'âge d'une personne. Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 2.

EXEMPLE :

Estimez l'exposition d'un enfant de 11 ans (juste avant son 12e anniversaire) qui a été exposé pendant deux heures par jour, tous les jours, depuis sa naissance, au plomb dans l'air extérieur à une concentration de 8×10^{-3} mg/m³. L'exposition a pris fin à l'âge de 12 ans lorsque la famille a déménagé dans une autre région. N'oubliez pas de calculer les expositions pour les trois périodes d'âge : 0 - < 0,5 ans, 0,5 - < 5 ans, et 5 - < 12 ans. Dans ce cas, le taux d'inhalation (TI) de l'air contaminé est une fraction du montant total d'air respiré dans une journée. Il est calculé comme suit :

$$\frac{\text{2 heures d'exposition/jour}}{\text{24 heures par jour}} \times \text{quantité quotidienne totale d'air inhalé}$$

La quantité quotidienne totale d'air inhalé peut changer au fur et à mesure qu'un enfant grandit (voir TABLEAU 1 pour les valeurs à chaque stade de la vie d'un enfant). En multipliant chacune de ces valeurs par 2/24 (= 0,083) on obtient un TI de 0,166 m³/jour, 0,415 m³/jour, et 0,996 m³/jour pour chacune des trois périodes d'âge. Les facteurs d'exposition pour ces périodes sont calculés comme suit :

Âge (ans)	Facteur d'exposition
0 - < 0,5	183 jours d'exposition dans les six premiers mois/4 380 jours de vie (12 ans) = 0,042
0,5 - < 5	1 642 jours d'exposition dans la seconde période/4 380 jours de vie (12 ans) = 0,375
5 - < 12	2 555 jours d'exposition dans la seconde période/4 380 jours de vie (12 ans) = 0,583

Âge (ans)	Concentration	TI	FE	PC	Dose d'inhalation journalière (mg/kg/jour)
0 - < 0,5	8×10^{-3}	0,166	0,042	7	$0,79 \times 10^{-5}$
0,5 - < 5	8×10^{-3}	0,415	0,375	13	$9,58 \times 10^{-5}$
5 - < 12	8×10^{-3}	0,996	0,583	27	$17,21 \times 10^{-5}$
DE_1					$2,76 \times 10^{-4}$

La dose de plomb journalière estimée, absorbée par les poumons de cet enfant, est estimée à $2,76 \times 10^{-4}$ mg/kg/jour.

Modifié d'après ATSDR, 1992.

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Estimation de l'exposition par ingestion d'eau

Le fait de boire de l'eau contaminée peut entraîner des expositions importantes aux substances dangereuses. Pour pouvoir estimer l'exposition aux contaminants provenant de l'eau consommée, il est important de déterminer la quantité d'eau consommée par les gens. L'ingestion de l'eau comprend l'eau pure, l'eau dans le café, le thé et autres boissons préparées à partir de l'eau du robinet, et l'eau dans les aliments cuits. Si vous ne disposez pas de valeurs précises pour votre collectivité, vous pouvez vous servir des valeurs recommandées pour l'ingestion journalière d'eau qui sont données au TABLEAU 1.

Pour calculer la dose d'ingestion de l'eau, on prend pour acquis que 100 % du contaminant est absorbé après l'ingestion.

La quantité d'un contaminant absorbé par le corps par l'intermédiaire de l'eau consommée (DE_e) peut être estimée à l'aide de l'équation suivante :

$$DE_e = \frac{C \times TI \times FE}{PC}$$

dans laquelle,

DE_e = Dose estimée de l'eau consommée : La dose d'ingestion d'eau est exprimée en milligrammes du contaminant ingéré par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).

C = Concentration du contaminant dans l'eau, en milligrammes par litre d'eau (mg/L).

TI = Taux d'ingestion : La quantité d'eau qu'une personne boit dans une journée, en litres (L/jour). Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 1. Si la personne boit à partir d'une source d'eau contaminée pendant seulement une partie de la journée (par exemple, seulement au travail), le taux d'ingestion est alors ajusté en conséquence.

FE = Facteur d'exposition : Indique la fréquence à laquelle la personne a été exposée au contaminant durant son existence (sans unité). Reportez-vous à la discussion précédente sur les facteurs d'exposition.

PC = Poids corporel : Le poids moyen du corps en kilogrammes (kg) basé sur le groupe d'âge d'une personne. Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 2.

EXEMPLE :

Calculez l'exposition d'un être humain aux contaminants dans l'eau potable au travail. L'eau est contaminée par 367 mg/L de chlorure de méthyle. Pour calculer la dose d'exposition d'un adulte durant son existence, on supposera un poids corporel de 70 kg (TABLEAU 2) et une carrière de 30 ans, avec 5 jours de travail par semaine, et 50 semaines de travail par année. On supposera un taux d'ingestion d'eau (TI) de 1,5 L/jour (TABLEAU 1).

$$FE = \frac{30 \text{ années de travail} \times 50 \text{ semaines de travail/année} \times 5 \text{ jours de travail/semaine}}{70 \text{ ans/vie complète} \times 365 \text{ jours/année}}$$

$$= 0{,}29$$

Puis,

$$DE_e = \frac{C \times TI \times FE}{PC}$$

$$= \frac{367 \text{ mg/L} \times 1{,}5 \text{ L/jour} \times 0{,}29}{70 \text{ kg}}$$

$$= 2{,}28 \text{ mg/kg/jour}$$

En prenant pour acquis que le lieu de travail constitue la seule source d'exposition, l'exposition à vie au chlorure de méthyle d'un adulte dans les conditions ci-dessus serait, selon les calculs, de 2,28 mg/kg/jour.

Modifié d'après ATSDR, 1992.

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Estimation de l'exposition par ingestion de sol

Le sol peut être ingéré d'une façon non intentionnelle, lorsqu'il colle aux mains ou aux aliments. Le sol peut être ingéré lorsque d'autres objets sont mis dans la bouche ou avalés. Tous les jeunes enfants le font dans une certaine mesure. La fréquence à laquelle les enfants avalent et portent des objets à leur bouche peut varier. Les enfants âgés d'un à trois ans, et les enfants qui présentent des désordres neurologiques, développent une habitude «d'avaler les objets» (connue sous le nom de pica) plus souvent que d'autres enfants.

Les valeurs recommandées pour l'ingestion journalière de sol par les enfants qui n'avalent pas d'objets régulièrement, et les adultes, sont présentées au TABLEAU 1. Pour calculer la dose d'ingestion de sol, on prend pour acquis que 100 % des contaminants ingérés avec le sol sont absorbés.

La quantité d'un contaminant absorbée par le corps en mangeant de la terre (DE_s) peut être estimée selon l'équation suivante :

$$DE_s = \frac{C \times TI \times FE \times 10^{-6}}{PC}$$

dans laquelle,

DE_s = Dose estimée provenant de la consommation de terre : La dose d'ingestion de sol est exprimée en milligrammes du contaminant ingéré par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).

C = Concentration du contaminant dans le sol, en milligrammes par kilogramme de sol (mg/kg).

TI = Taux d'ingestion : La quantité de sol qu'une personne ingère dans une journée, en milligrammes (mg/jour). Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 1. Si la personne peut seulement ingérer du sol contaminé durant une partie de la journée (par exemple, un enfant exposé à du sol contaminé dans une garderie où il ne se rend que le matin), le taux d'ingestion est alors ajusté en conséquence.

FE = Facteur d'exposition : Indique la fréquence à laquelle la personne a été exposée au contaminant durant son existence (sans unité). Reportez-vous à la discussion précédente sur les facteurs d'exposition.

PC = Poids corporel : Le poids moyen du corps en kilogrammes (kg) basé sur le groupe d'âge d'une personne. Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 2.

REMARQUE : L'équation comprend un facteur de conversion de 10^{-6}, qui est nécessaire pour convertir la concentration du contaminant dans le sol (C), de mg/kg de sol à mg/mg de sol. De cette façon, les unités pour la concentration de sol sont les mêmes que celles pour l'ingestion de sol (toutes les deux sont maintenant en milligrammes de sol).

EXEMPLE :

Calculez l'exposition au sol pour un adulte à son lieu de travail. Le sol est contaminé avec 0,9 mg/kg de cadmium. Pour calculer la dose d'exposition d'un adulte sur une existence, on supposera un poids corporel de 70 kg (TABLEAU 2) et une carrière de 30 ans, avec 5 jours de travail par semaine, et 50 semaines de travail par année. On supposera un taux d'ingestion de sol (TI) de 20 mg/jour (TABLEAU 1).

$$FE = \frac{\text{30 années de travail x 5 jours de travail/semaine x 50 semaines de travail/année}}{\text{70 ans/vie complète x 365 jours/année}}$$

$$= 0{,}29$$

Puis, $$DE_s = \frac{C \times TI \times FE \times 10^{-6}}{PC}$$

$$= \frac{\text{0,9 mg/kg x 20 mg/jour x 0,29 x } 10^{-6}}{\text{70 kg}}$$

$$= 7{,}46 \times 10^{-6} \text{ mg/kg/jour de cadmium}$$

En prenant pour acquis que le lieu de travail constitue la seule source d'exposition, l'exposition au cadmium d'un adulte dans les conditions ci-dessus est calculée comme étant 7,46 x 10^{-6} mg/kg/jour, en moyenne sur une existence complète.

Modifié d'après ATSDR, 1992.
Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Estimation de l'exposition par ingestion d'aliments

Pour connaître la quantité d'un contaminant qui est ingérée avec la nourriture, il est important de connaître les habitudes alimentaires du groupe ou de la population à l'étude, et la concentration du contaminant dans différentes sortes d'aliments. Les habitudes alimentaires - la quantité de chaque sorte d'aliment différent consommée - dans votre collectivité peuvent différer de la moyenne nationale. Par exemple, dans certaines collectivités, on consomme beaucoup plus de poisson que la moyenne pour tous les Canadiens. Les groupes au sein de la collectivité peuvent aussi être différents des moyennes nationales. En général, les gens plus âgés mangent plus de poisson, comme c'est aussi le cas pour les amateurs de pêche sportive. Lorsque l'on dispose de valeurs concernant les habitudes alimentaires locales, celles-ci devraient être utilisées pour calculer la dose d'exposition. La quantité moyenne des divers groupes d'aliments consommés par les Canadiens est indiquée au TABLEAU 3 et elle peut être utilisée lorsque l'on ne dispose pas de valeurs locales.

La quantité d'un contaminant absorbé par le corps avec les aliments (DE_a) nécessite un calcul séparé pour chaque sorte d'aliment (ou groupe d'aliments) consommé. Cela pourrait donner l'impression que l'équation est plus compliquée, mais en fait, les étapes supplémentaires ne constituent qu'une répétition de l'équation de base utilisée pour le calcul des autres doses estimées (DE). La dose totale estimée provenant des aliments peut être calculée selon l'équation suivante :

$$DE_a = \underbrace{\frac{CA \times TC \times FE}{PC}}_{\text{(groupe alimentaire 1)}} + \underbrace{\frac{CA \times TC \times FE}{PC}}_{\text{(groupe alimentaire 2)}} + \ldots + \underbrace{\frac{CA \times TC \times FE}{PC}}_{\text{(dernier groupe alimentaire)}}$$

dans laquelle,

DE_a = Dose estimée provenant des aliments : La dose d'ingestion d'aliments est exprimée en milligrammes du contaminant consommé par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).

CA = Concentration du contaminant dans les groupes alimentaires : La concentration du contaminant dans le groupe alimentaire est exprimée en milligrammes de contaminant par gramme d'aliment (mg/g).

TC = Taux de consommation : La quantité d'aliments provenant de ce groupe alimentaire consommé, exprimée en milligrammes par jour (mg/jour). Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 3.

FE = Facteur d'exposition : Indique à quelle fréquence la personne a consommé les aliments contaminés au cours de sa vie (sans unité). Reportez-vous à la discussion précédente sur les facteurs d'exposition.

PC = Poids corporel : Le poids moyen du corps en kilogrammes (kg) basé sur le groupe d'âge d'une personne. Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 2.

REMARQUE : On prend pour acquis que 100 % du contaminant consommé avec les aliments est absorbé par le corps.

Le calcul de la dose d'ingestion d'aliments, pour un contaminant dans les aliments cultivés à la maison, est similaire, mais tient compte du pourcentage de l'aliment contaminé qui est cultivé à la maison :

$$DE_a = \underbrace{\frac{CA \times TC \times FE \times PM}{PC}}_{\text{(groupe alimentaire 1)}} + \underbrace{\frac{CA \times TC \times FE \times PM}{PC}}_{\text{(groupe alimentaire 2)}} + \ldots + \underbrace{\frac{CA \times TC \times FE \times PM}{PC}}_{\text{(dernier groupe alimentaire)}}$$

dans laquelle,

PM = pourcentage de ce groupe alimentaire qui est cultivé à la maison

Terrains agricoles : Prend pour acquis que 50 % de la viande, du lait, des fruits et des légumes consommés par les résidants dans les zones agricoles sont cultivés à la ferme.

Terrains résidentiels : Prend pour acquis que 7 % des fruits et légumes sont cultivés dans un potager à l'arrière de la maison. Aucune viande ni lait ne sont produits à la maison.

EXEMPLE :

Estimez l'exposition d'une fillette, âgée entre 5 et 11 ans, au plomb provenant des aliments produits sur la ferme où elle vit. Étant donné qu'elle vit sur une ferme, (c.-à-d. sur un terrain agricole), on prend pour acquis que 50 % (c.-à-d. PM = 0,5) de la viande, du lait, et des fruits et légumes consommés par l'enfant sont produits à la ferme. Pour calculer la dose d'exposition provenant des aliments, on admet l'hypothèse d'un poids corporel de 27 kg (TABLEAU 2) et d'un taux de consommation (TC) de viande, de produits laitiers, de fruits et légumes de 120 g/jour, 609 g/jour et 198 g/jour respectivement (TABLEAU 3). On admet l'hypothèse d'un facteur d'exposition (FE) de 1, étant donné que l'enfant mange tous les jours. Cette évaluation est effectuée seulement pour le plomb provenant des aliments produits localement. Elle ne prend pas en considération d'autres sources de plomb comme celles qui proviennent des aliments achetés.

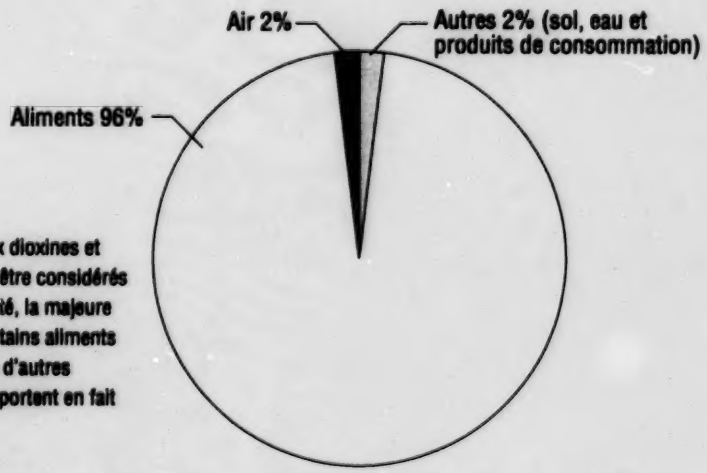
Groupe alimentaire	CA	TC	PM	FE	PC	Dose journalière de contaminant (mg/kg/jour)
Viande	0,01	120	0,5	1,0	27	0,022
Produits laitiers	0,005	609	0,5	1,0	27	0,056
Légumes	0,002	198	0,5	1,0	27	0,007
DE_s						0,085

On estime donc à 0,085 mg/kg/jour la dose journalière de plomb provenant des aliments produits à la maison, reçue par cette fillette âgée entre 5 et 11 ans.

Modifié d'après ATSDR, 1992.
Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

FIGURE 3:

L'ingestion d'aliments constitue la principale voie d'exposition pour les dioxines et les furannes chez les Canadiens



Bien que peu de gens soient exposés aux dioxines et aux furannes à des niveaux qui puissent être considérés comme présentant un risque pour la santé, la majeure partie de cette exposition provient de certains aliments contaminés (96 %) plutôt que de l'air ou d'autres sources. La plupart des aliments ne comportent en fait pas de dioxines ni de furannes.

Estimation des doses d'exposition par la peau (eau et sol)

L'absorption des contaminants par la peau dépend d'un certain nombre de facteurs, à savoir :

- la surface totale de la peau exposée;
- la partie du corps en contact avec le contaminant;
- la durée du contact;
- la concentration du produit chimique sur la peau;
- la possibilité pour le contaminant en question de traverser la peau pour se rendre dans le corps. C'est ce que l'on appelle «la perméabilité intrinsèque d'un produit chimique»;
- le type de substance au travers de laquelle le contaminant entre en contact avec la peau. Par exemple, le contaminant est-il dissous dans l'eau ou dispersé dans le sol, lorsqu'il entre en contact avec la personne?
- si la peau est endommagée d'une façon quelconque avant d'entrer en contact avec le contaminant.

La zone de la peau exposée sera influencée par l'activité réalisée et la saison de l'année. La superficie totale de la peau varie aussi avec l'âge. Le TABLEAU 2 fournit des valeurs pour la surface de la peau de différentes parties du corps pour les adultes et les enfants.

Dose d'exposition lors du contact de l'eau contaminée avec la peau

L'absorption des contaminants dans l'eau au travers de la peau se produit durant les bains, les douches ou la natation. L'exposition des travailleurs par cette voie de pénétration dépend du type de travail réalisé, des vêtements protecteurs portés et de l'étendue et de la longueur du contact avec l'eau. La rapidité de déplacement d'un produit chimique au travers de la peau est affectée par les propriétés physiques et chimiques de la substance, à savoir :

- le poids, la dimension et la forme des molécules du produit chimique;
- sa charge électrostatique;
- si ce produit peut être dissous ou non dans l'eau et dans les matières grasses.

En général, les produits chimiques qui se déplacent rapidement au travers de la peau ont des poids moléculaires faibles. Ils n'ont aucune charge électrostatique et ils peuvent être dissous dans les matières grasses. Il est possible de mesurer la rapidité avec laquelle un produit chimique se déplace et cette mesure peut être exprimée en une valeur appelée constante de perméabilité. Cette constante est différente pour chaque produit chimique.

L'absorption au travers de la peau peut se produire plus rapidement lorsque la peau est coupée, éraflée ou sujette au psoriasis ou à l'eczéma.

Pour estimer l'absorption d'un contaminant dans l'eau au travers de la peau, on devra utiliser une constante de perméabilité (P). Toutefois, de telles constantes ont seulement été établies pour quelques produits chimiques. Même pour les produits chimiques qui ont été soumis à des tests, la valeur de la constante peut dépendre, dans une large mesure, du concept de l'expérience utilisée pour faire le test du produit chimique. Les constantes de perméabilité de la peau pour certains contaminants dans l'eau sont indiquées au TABLEAU 4. Pour faire preuve de prudence et ne pas sous-estimer l'exposition, on peut utiliser dans les calculs une perméabilité de 1,0 cm/heure. De nombreuses agences gouvernementales utilisent cette valeur au lieu des constantes présentées au TABLEAU 4.

La quantité d'un contaminant dans l'eau absorbée dans le corps au travers de la peau (DE_{ep}) peut être estimée avec l'équation suivante :

$$DE_{ep} = \frac{C \times P \times S \times TE \times FE \times 10^{-3}}{PC \times AT}$$

dans laquelle,

DE_{ep} = Dose estimée provenant de l'eau et passant au travers de la peau. La dose d'exposition de la peau est exprimée en milligrammes absorbés au travers de la peau par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).

C = Concentration du contaminant dans l'eau, en milligrammes par litre d'eau (mg/L).

P = La constante de perméabilité : exprimée en tant que le nombre de centimètres que le produit chimique parcourra au travers de la peau en une heure (cm/h). Une méthode prudente prend pour acquis une constante de 1,0 cm/h plutôt que les constantes indiquées au TABLEAU 4. Reportez-vous à la discussion précédente.

S = Surface : La surface de la peau exposée à l'eau contaminée, exprimée en centimètres carrés (cm^2). Le TABLEAU 2 renferme les surfaces moyennes pour les diverses parties du corps.

TE = Temps d'exposition : Le nombre d'heures par jour durant lesquelles l'eau contaminée est en contact avec la peau.

FE = Facteur d'exposition : Indique combien de fois la personne a été exposée à l'eau contaminée au cours de sa vie (sans unité).

PC = Poids corporel : Le poids moyen du corps en kilogrammes (kg) basé sur le groupe d'âge d'une personne. Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 2.

REMARQUE : Le facteur de 10^{-3} est nécessaire pour convertir les unités de volume d'eau à partir des litres (L) en centimètres cubes (cm^3) (1 L = 1 000 cm^3). Cette conversion est nécessaire afin que la concentration de contaminants (C) utilise les mêmes unités que la constante de perméabilité (P) et la surface (S).

EXEMPLE :

Calculez l'exposition au travers de la peau d'un contaminant dans l'eau pour une femme qui vit dans une zone où la concentration (C) de benzène s'est avérée être de 0,002 mg/L. Elle vit dans sa maison depuis 25 ans et elle prend un bain quotidiennement. Ignorez les autres contacts de la peau avec l'eau. Prenez pour acquis que la totalité du corps (S = 18 200 cm^2) est exposée pendant un quart d'heure (TE = 0,25) durant le bain. Le benzène se déplace au travers de la peau à un taux de 0,11 cm/h (P). Calculez l'exposition quotidienne de la peau de cette femme, établie en moyenne sur son existence que l'on évalue à 70 ans.

$$FE = \frac{\text{25 années x 365 jours/année}}{\text{70 ans x 365 jours/année}}$$

$$= 0{,}36$$

Puis,

$$DE_{ep} = \frac{C \times P \times S \times TE \times FE \times 10^{-3}}{PC}$$

$$DE_{ep} = \frac{\text{0,002 mg/L x 0,11 cm/heure x 18 200 cm}^2 \text{ x 0,25 heures/jour x 0,36 x } 10^{-3}}{\text{70 kg}}$$

$$= 5{,}1 \times 10^{-6} \text{ mg/kg/jour}$$

L'exposition de la peau de cette femme au benzène à partir de l'eau du bain, établie en fonction d'une approximation de sa durée de vie, serait de 5,1 x 10^{-6} mg/kg/jour.

Modifié d'après ATSDR, 1992.
Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Dose d'exposition lors du contact de sol contaminé avec la peau

L'absorption des contaminants provenant du sol ou de la poussière au travers de la peau dépend d'un certain nombre de facteurs :

- la surface de contact;
- la durée du contact;
- l'attraction chimique et physique entre le contaminant et le sol;
- la capacité du contaminant à pénétrer la peau;
- le poids des molécules individuelles du contaminant en question;
- de quelle manière le contaminant se dissout dans l'eau et les matières grasses.

Souvent, le contaminant dans le sol ne se prête pas en totalité à l'absorption par la peau. De nombreux produits chimiques organiques sont fermement attachés à la matière organique du sol, si bien qu'ils ne peuvent se déplacer au travers de la peau qu'avec difficulté. De plus, seules les molécules de contaminant en contact direct avec la peau peuvent être absorbées. La quantité de contaminant qui peut être absorbée à partir du sol peut faire l'objet de tests. Les résultats d'une telle expérience donnent un «facteur de biodisponibilité» se rapportant à ce contaminant en particulier, comme ceux qui sont indiqués au TABLEAU 5. Ces facteurs de biodisponibilité peuvent aussi varier en fonction de la méthode expérimentale dont on se sert pour les déterminer. La technique la plus prudente consiste à utiliser dans les calculs un facteur de biodisponibilité de 1,0 (= absorption à 100 %).

L'autre facteur variable lors du calcul de l'absorption au travers de la peau consiste à savoir avec quelle facilité le sol peut coller à la peau. Les données portant sur l'adhérence de la poussière et du sol à la peau sont limitées. Les valeurs recommandées pour la totalité du sol qui adhère (A) à la peau pour différents groupes d'âge sont présentées au TABLEAU 1.

La quantité d'un contaminant qui est absorbée à la suite d'un contact par la peau avec un sol contaminé (DE_{sp}) peut être estimée en utilisant l'équation suivante :

$$DE_{sp} = \frac{C \times A \times FB \times FE \times 10^{-6}}{PC}$$

dans laquelle,

DE_{sp} = Dose estimée selon le contact de la peau avec le sol : Cette dose est exprimée en milligrammes de contaminant absorbé au travers de la peau par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).

C = Concentration du contaminant dans le sol, en milligrammes par kilogramme de sol (mg/kg).

A = Le sol total adhéré : La quantité de sol qui adhérera à une personne, exprimée en milligrammes par jour (mg/jour). Les valeurs recommandées qui peuvent être utilisées ici se trouvent au TABLEAU 1.

FB = Facteur de biodisponibilité : Le pourcentage de contaminant dans le sol qui est réellement libre de se déplacer hors du sol et au travers de la peau (sans unité). Une technique prudente consiste à utiliser un facteur de 1,0 (= disponibilité de 100 %) au lieu des facteurs indiqués au TABLEAU 5. Reportez-vous à la discussion précédente.

FE = Facteur d'exposition : Indique la fréquence à laquelle la personne a été exposée au contaminant durant une vie (sans unité). Consultez la discussion précédente sur les facteurs d'exposition.

PC = Poids corporel : Le poids moyen du corps en kilogrammes (kg) basé sur le groupe d'âge de la personne. Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 2.

REMARQUE : L'équation comprend un facteur de conversion de 10^{-6}, nécessaire pour convertir la concentration du contaminant dans le sol (C) à partir de mg/kg de sol en mg/mg de sol. De cette façon, les unités de concentration de sol sont les mêmes que celles pour le sol total adhéré à la peau (toutes les deux sont maintenant en milligrammes de sol).

EXEMPLE :

Estimez l'exposition d'un enfant de 11 ans (juste avant son 12e anniversaire) qui a eu un contact par la peau avec un sol contaminé, quotidiennement depuis sa naissance. La concentration du contaminant dans le sol (C) est de 100 mg/kg. Supposez que le facteur de biodisponibilité (FB) soit de 1,0 (= 100 % de disponibilité). N'oubliez pas de calculer les expositions pour trois périodes d'âge : 0 - < 0,5 ans; 0,5 - < 5 ans; 5 - < 12 ans. Dans ce cas, le sol total adhéré (A) à l'enfant est de 2 200 mg/jour, 3 500 mg/jour et 5 800 mg/jour respectivement, pour chacune des trois périodes d'âge (voir TABLEAU 1). Les facteurs d'exposition pour chaque période d'âge sont calculés comme suit :

Âge (ans)	Facteur d'exposition	
0 - < 0,5	183 jours d'exposition durant la première période/4 380 jours dans l'existence	= 0,042
0,5 - < 5	1 642 jours d'exposition dans la seconde période/4 380 jours dans l'existence	= 0,375
5 - < 12	2 555 jours d'exposition dans la seconde période/4 380 jours dans l'existence	= 0,583

Âge (ans)	C	A	FB	FE	Facteur de conversion	PC	Exposition journalière de la peau (mg/kg/jour)
0 - < 0,5	100	2 200	1,0	0.042	10^{-6}	7	0,001
0,5 - < 5	100	3 500	1,0	0,375	10^{-6}	13	0,010
5 - < 12	100	5 800	1,0	0,583	10^{-6}	27	0,013
DE_{sp}							0,024

La dose journalière de contaminant pour cet enfant est estimée à 0,024 mg/kg/jour, une approximation basée sur sa durée de vie qui, à ce jour, est de 12 ans.

Modifié d'après ATSDR, 1992.
Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Calcul de la dose journalière estimée (DJE)

Une fois que vous avez calculé chacune des doses estimées, vous pouvez les additionner pour obtenir la dose journalière estimée totale (DJE) du contaminant. L'exemple suivant montre comment cela est réalisé.

Dose journalière estimée (DJE) = $DE_1 + DE_2 + DE_3 + DE_4 + DE_{cp} + DE_{cs}$

dans laquelle, DE_1 est la dose estimée provenant de l'inhalation,

DE_2 est la dose estimée provenant de l'ingestion d'eau,

DE_3 est la dose estimée provenant de l'ingestion de sol,

DE_4 est la dose estimée provenant de l'ingestion d'aliments,

DE_{cp} est la dose estimée d'exposition par contact de l'eau avec la peau,

DE_{cs} est la dose estimée d'exposition par contact de sol avec la peau.

EXEMPLE :

Calculez la DJE du pentachlorophénol d'une personne vivant à proximité d'un site dont on soupçonne la contamination. Vous adoptez l'hypothèse d'une exposition moyenne sur une existence complète de 70 ans. La dose estimée pour chaque combinaison possible de trajet d'exposition et voie d'exposition est donnée ci-dessous. On remarquera que chaque dose estimée a été calculée séparément pour chacun des cinq stades de l'existence, ce qui peut permettre d'améliorer la précision de l'évaluation totale. On a calculé chaque dose estimée en utilisant les équations décrites aux pages précédentes. Toutes les valeurs sont exprimées en nanogrammes de pentachlorophénol par kilogramme de poids corporel par jour (ng/kg/jour).

TRAJET D'EXPOSITION	Âge (ans) 0 - < 0,5	0,5 - < 5	5 - < 12	12 - < 20	20+	Exposition journalière (ng/kg/jour)
Inhalation d'air	0,079	0,823	1,430	1,634	6,786	DE_1 = 10,752
Ingestion d'eau	0,001	0,007	0,005	0,006	0,029	DE_2 = 0,048
Ingestion de sol	0,007	0,012	0,014	0,016	0,064	DE_3 = 0,113
Ingestion d'aliments	0,705	6,771	4,990	5,703	19,786	DE_4 = 37,955
Exposition de la peau à l'eau	0,003	0,003	0,002	0,002	0,014	DE_{cp} = 0,024
Exposition de la peau au sol	0,004	0,071	0,009	0,010	0,036	DE_{cs} = 0,013
	0,799	7,687	6,450	7,371	26,715	DJE = 49,022

On estime donc que la dose journalière de pentachlorophénol reçue par cette personne serait de 49,022 ng/kg/jour (équivalant à 0,049 µg/kg/jour), établie en moyenne sur une existence de 70 ans.

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Comparaison de la DJE à la DJT ou à la DSR

Pour déterminer si oui ou non la dose journalière estimée (DJE) que vous avez calculée est à un niveau relié à un risque accru pour la santé, comparez-la à la dose journalière tolérable (DJT) ou à la dose spécifique aux risques (DSR), selon ce qui est le plus approprié pour ce contaminant.

Non cancérogène

EXEMPLE :

Considérez l'exposition d'un pêcheur commercial au mercure de méthyle, dont la DJE a été estimée à 0,61 µg/kg/jour. Comment cela se compare-t-il à la DJT connue?

La DJT pour le mercure de méthyle d'après le TABLEAU 6 serait de 0,47 µg/kg/jour. La DJE de 0,61 µg/kg/jour est d'environ 1,3 fois au-dessus de la DJT. Ceci indique que l'exposition dépasse le niveau considéré comme un risque pour la santé. Des mesures devraient être prises pour réduire l'exposition au mercure de méthyle dans une telle situation.

Cancérogène

EXEMPLE :

La DJE pour le pentachlorophénol, calculée dans l'exemple de la page précédente, donne comme résultat 49,022 ng/kg/jour (= $4,9 \times 10^{-6}$ mg/kg/jour). Prenez pour acquis que l'indice de la pente (IP) est de 0,12 $(mg/kg/jour)^{-1}$ pour le pentachlorophénol et que le niveau de risque de cancer considéré comme acceptable était d'un décès supplémentaire par cancer par 100 000 personnes exposées (c.-à-d. 1×10^{-5}). De quelle manière la DJE se compare-t-elle à la DSR?

1. Calcul de la DSR pour le pentachlorophénol

$$DSR = \frac{R}{IP}$$

$$= \frac{1 \times 10^{-5}}{8,12\ (mg/kg/jour)^{-1}}$$

$$= 8,3 \times 10^{-6}\ mg/kg/jour$$

2. Comparez la DJE à la DSR

La DJE pour l'exposition au pentachlorophénol est de $4,9 \times 10^{-6}$ mg/kg/jour, ce qui représente environ la moitié de la DSR calculée à $8,3 \times 10^{-6}$ mg/kg/jour. Ceci indique que l'exposition est inférieure au niveau de risque de cancer considéré comme acceptable.

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Une autre façon d'appuyer vos résultats

Des lignes directrices ont été préparées pour de nombreux contaminants chimiques que l'on trouve dans le sol et l'eau. Si les niveaux contaminés dans le sol ou l'eau dépassent les lignes directrices, il est préférable d'approfondir l'enquête sur la contamination. Les lignes directrices, appelées Critères provisoires d'évaluation des sols et de l'eau, ont été préparées par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) et elles figurent au TABLEAU 8. Si les concentrations de contaminants dans le sol ou l'eau de votre collectivité dépassent ces niveaux, vous pouvez les utiliser pour appuyer votre demande en vue d'une étude plus détaillée du problème.

7. DOSE ESTIMÉE POUR LE RAYONNEMENT IONISANT : ÉQUATIONS ET EXEMPLES

L'exposition aux sources de rayonnement ionisant à l'extérieur du corps entraînera une exposition externe directe. L'inhalation de l'air, l'ingestion des aliments, de l'eau ou du sol, qui contiennent des radionucléides naturels ou artificiels, peuvent entraîner une exposition interne aux rayonnements qui pourraient avoir été reçus sur une période très longue à la suite de l'inhalation ou de l'ingestion. Comme c'est le cas des contaminants chimiques, il est primordial de déterminer la quantité d'air, d'aliments, d'eau et de sol apportée dans le corps, de façon à pouvoir estimer la dose reçue à la suite d'une année d'inhalation ou d'ingestion.

Les valeurs recommandées pour les taux quotidiens d'inhalation et d'ingestion sont les mêmes que celles présentées au TABLEAU 1 et au TABLEAU 3. On peut obtenir les facteurs de conversion de dose (FCD) pour les enfants et les adultes en se référant aux publications de la Commission internationale de protection radiologique et du National Radiation Protection Board (R.-U.), ou en communiquant avec le Bureau de la radioprotection de Santé Canada, qui peut fournir l'expertise dans ce domaine. On trouvera au TABLEAU 7 des FCD pour certains radionucléides.

Facteurs d'exposition

Pour les radionucléides, la période moyenne au cours de laquelle l'exposition est estimée est considérée comme étant une année (365 jours), étant donné que les limites d'exposition sont exprimées sur une base annuelle. Par exemple, si un travailleur est exposé 4 fois par semaine pendant une année de travail de 50 semaines, le facteur d'exposition sera calculé comme suit :

$$FE = \frac{(50 \text{ semaines de travail/année}) \times (4 \text{ jours de travail/semaine})}{(365 \text{ jours/année})}$$

$$FE = 0{,}55$$

Estimation de l'exposition au rayonnement par inhalation d'air

La dose engagée provenant de l'exposition au rayonnement interne à la suite de l'inhalation d'air (DE_i) peut être estimée à l'aide de l'équation :

$$DE_i = C \times TI \times FC \times FE \times FCD$$

dans laquelle :

DE_i = La dose estimée sur 50 ans (pour les adultes) ou 70 ans (pour les enfants) par l'inhalation d'air au cours d'une année : La dose d'inhalation d'air est exprimée en sieverts *(Sv)* ou millisieverts *(mSv)*.

C = La concentration d'activité de radionucléide dans l'air, en becquerels par mètre cube d'air (*Bq*/m ^{3}).

TI = Taux d'inhalation : La quantité d'air qu'une personne respire dans une journée, en mètres cubes (m ^{3}/jour). Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 1. Si l'air contaminé est respiré une partie de la journée seulement, le taux d'inhalation est ajusté en conséquence.

FC = Facteur de conversion : Ce facteur de 365 jours est nécessaire pour convertir le taux d'inhalation (TI) d'unités/jour en unités/an.

FE = Facteur d'exposition : Indique à quelle fréquence la personne a été exposée au contaminant au cours de l'année (sans unité).

FCD = Facteur de conversion de dose (particulier à chaque radionucléide) : La dose prolongée sur 50 ans ou 70 ans résultant de l'inhalation de 1 *Bq* d'un radionucléide donné *(Sv/Bq)*. Les FCD sélectionnés sont donnés au TABLEAU 7.

EXEMPLE :

Estimez la dose engagée de radiation d'un adulte mâle à la suite de l'inhalation pendant un an de tritium dans l'air sur le lieu de travail. Prenez pour acquis 50 semaines de travail par année, une semaine de travail de 5 jours avec une journée de travail de 8 heures. On admet l'hypothèse que le taux d'inhalation est de 23 m ^{3} sur 24 heures (voir TABLEAU 1) si bien que le taux d'inhalation (TI) attribuable à 8 heures sur le lieu de travail serait de 7,67 m ^{3}. La concentration d'activité du tritium (C) dans l'air au lieu de travail a été mesurée à 0,1 *Bq*/m ^{3} et le FCD pour le tritium par l'inhalation est de 1,80 x 10 $^{-11}$ *Sv/Bq* (voir TABLEAU 7).

$$EF = \frac{\text{1 année de travail x 50 semaines de travail/année x 5 jours de travail/semaine}}{\text{365 jours/année}}$$

$$= 0{,}68$$

Puis, $DE_i = C \times TI \times FC \times FE \times FCD$

$= 0{,}1\ Bq/m^3 \times 7{,}67\ m^3/\text{jour} \times 365\ \text{jours} \times 0{,}68 \times 1{,}8 \times 10^{-11}\ Sv/Bq$

$= 3{,}4 \times 10^{-6}\ Sv$

$= 3{,}4 \times 10^{-6}\ mSv$

La dose engagée estimée sur 50 ans du tritium, à la suite d'une inhalation pendant un an au lieu de travail, est de 3,4 x 10 $^{-6}$ *mSv*.

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Estimation de l'exposition au rayonnement par ingestion d'eau

La dose engagée provenant de l'exposition au rayonnement interne à la suite d'ingestion d'eau (DE_e) peut être estimée à l'aide de l'équation :

$$DE_e = C \times TI \times FC \times FE \times FCD$$

dans laquelle :

DE_e = La dose estimée sur 50 ans (pour les adultes) ou 70 ans (pour les enfants) par l'ingestion d'eau au cours d'une année : La dose d'ingestion d'eau est exprimée en sieverts *(Sv)* ou millisieverts *(mSv)*.

C = La concentration d'activité de radionucléide dans l'eau potable, en becquerels par litre d'eau (*Bq*/L).

TI = Taux d'ingestion : La quantité d'eau qu'une personne boit dans une journée, en litres (L/jour). Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 1. Si la personne boit à partir d'une source d'eau contaminée pendant une partie de la journée seulement (par exemple, seulement au travail), le taux d'ingestion est ajusté en conséquence.

FC = Facteur de conversion : Ce facteur de 365 jours est nécessaire pour convertir le taux d'ingestion (TI) d'unités/jour en unités/an.

FE = Facteur d'exposition : Indique à quelle fréquence la personne a été exposée au contaminant au cours de l'année (sans unité).

FCD = Facteur de conversion de dose (particulier à chaque radionucléide) : La dose prolongée sur 50 ans ou 70 ans résultant de l'ingestion de 1 *Bq* d'un radionucléide donné *(Sv/Bq)*. Les FCD sélectionnés sont donnés au TABLEAU 7.

EXEMPLE :

Estimez la dose engagée de radiation d'un adulte mâle à la suite d'ingestion pendant un an de strontium 90 dans l'eau sur le lieu de travail. Prenez pour acquis 50 semaines de travail par année et une semaine de travail de 5 jours. Le taux d'ingestion d'eau journalier total est évalué à 1,5 L/jour (voir TABLEAU 1) dont la moitié (TI = 0,75 L/jour) est consommée sur le lieu de travail. La concentration d'activité du strontium 90 (C) dans l'eau au lieu de travail a été mesurée à $5{,}0 \times 10^{-3}$ *Bq*/L et le FCD pour le strontium 90 par l'ingestion est de $2{,}80 \times 10^{-8}$ *Sv/Bq* (voir TABLEAU 7).

$$FE = \frac{\text{1 année de travail x 50 semaines de travail/année x 5 jours de travail/semaine}}{\text{365 jours/année}}$$

$$= 0{,}68$$

Puis, $DE_e = C \times TI \times FC \times FE \times FCD$

$= 5{,}0 \times 10^{-3}$ *Bq/L* x 0,75 L/jour x 365 jours x 0,68 x $2{,}8 \times 10^{-8}$ *Sv/Bq*

$= 2{,}6 \times 10^{-4}$ *Sv*

$= 2{,}6 \times 10^{-1}$ *mSv*

La dose engagée estimée sur 50 ans du strontium 90, à la suite d'une ingestion d'eau pendant un an au lieu de travail, est de $2{,}6 \times 10^{-1}$ *mSv*.

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Estimation de l'exposition au rayonnement par ingestion de sol

La dose engagée provenant de l'exposition au rayonnement interne à la suite de l'ingestion de sol (DE_s) peut être estimée à l'aide de l'équation :

$$DE_s = C \times TI \times FC \times FE \times FCD$$

dans laquelle :

DE_s = La dose estimée sur 50 ans (pour les adultes) ou 70 ans (pour les enfants) par l'ingestion de sol au cours d'une année : La dose d'ingestion de sol est exprimée en sieverts *(Sv)* ou millisieverts *(mSv)*.

C = La concentration d'activité de radionucléide dans le sol, en becquerels par kilogramme de sol (*Bq*/kg).

TI = Taux d'ingestion : La quantité de sol qu'une personne ingère dans une journée, en milligrammes (mg/jour). Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 1. Si la personne consomme du sol contaminé une partie de la journée seulement (par exemple, seulement au travail), le taux d'ingestion est alors ajusté en conséquence.

FC = Facteur de conversion : Ce facteur de 365 jours est nécessaire pour convertir le taux d'ingestion (TI) d'unités/jour en unités/an.

FE = Facteur d'exposition : Indique à quelle fréquence la personne à été exposée au contaminant au cours de l'année (sans unité).

FCD = Facteur de conversion de dose (particulier à chaque radionucléide) : La dose prolongée sur 50 ans ou 70 ans résultant de l'ingestion de 1 *Bq* d'un radionucléide donné *(Sv/Bq)*. Les FCD sélectionnés sont donnés au TABLEAU 7.

EXEMPLE :

Estimez la dose engagée de radiation d'un adulte mâle à la suite de l'ingestion accidentelle pendant un an de césium 137 dans le sol sur le lieu de travail. En prenant pour acquis 50 semaines de travail par année, une semaine de travail de 5 jours avec une journée de travail de 8 heures, on admet l'hypothèse que le taux d'ingestion est de 20 mg sur 24 heures (voir TABLEAU 1). Ainsi le taux d'ingestion de sol (TI) attribuable à 8 heures sur le lieu de travail serait de 6,67 mg. La concentration d'activité du césium 137 (C) dans le sol au lieu de travail a été mesurée à 10,0 *Bq*/kg, ce qui est équivalent à 1×10^{-5} *Bq*/mg. Le FCD pour le césium 137 par l'ingestion est de $1{,}30 \times 10^{-8}$ *Sv/Bq* (voir TABLEAU 7).

$$FE = \frac{1 \text{ année de travail} \times 50 \text{ semaines de travail/année} \times 5 \text{ jours de travail/semaine}}{365 \text{ jours/année}}$$

$$= 0{,}68$$

Puis, $DE_s = C \times TI \times FC \times FE \times FCD$

$= 1 \times 10^{-5}$ *Bq/mg* $\times$ 6,67 mg/jour $\times$ 365 jours $\times$ 0,68 $\times$ $1{,}3 \times 10^{-8}$ *Sv/Bq*

$= 2{,}2 \times 10^{-10}$ *Sv*

$= 2{,}2 \times 10^{-7}$ *mSv*

La dose engagée estimée sur 50 ans de césium 137, à la suite d'une ingestion accidentelle de sol au lieu de travail, est de $2{,}2 \times 10^{-7}$ *mSv*.

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Estimation de l'exposition au rayonnement par ingestion d'aliments

La dose engagée provenant de l'exposition au rayonnement interne à la suite de l'ingestion d'aliments (DE_a) nécessite un calcul séparé pour chaque sorte d'aliment (ou groupe d'aliments) consommés. Ces étapes supplémentaires ne constituent qu'une répétition de l'équation de base utilisée pour calculer toutes les autres doses estimées. La dose estimée totale provenant des aliments peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$DE_a = \underbrace{(C \times TC \times FC \times FE \times FDC)}_{\text{(groupe d'aliments 1)}} + \underbrace{(C \times TC \times FC \times FE \times FDC)}_{\text{(groupe d'aliments 2)}} + \ldots + \underbrace{(C \times TC \times FC \times FE \times FDC)}_{\text{(dernier groupe d'aliments)}}$$

dans laquelle :

DE_a = La dose estimée sur 50 ans (pour les adultes) ou 70 ans (pour les enfants) provenant de l'ingestion d'aliments au cours d'une année : La dose d'ingestion des aliments est exprimée en sieverts *(Sv)* ou millisieverts *(mSv)*.

C = La concentration d'activité de radionucléides dans le groupe d'aliments, en becquerels par kilogramme (*Bq*/kg) ou par gramme (*Bq*/g) d'aliments.

TC = Taux de consommation : La quantité d'aliments appartenant à ce groupe d'aliments consommés, exprimée en grammes par jour (g/jour). Les valeurs recommandées sont données au TABLEAU 3.

FC = Facteur de conversion : Ce facteur de 365 jours est nécessaire pour convertir le taux de consommation (TC) d'unités/jour en unités/an.

FE = Facteur d'exposition : Indique à quelle fréquence la personne a été exposée au contaminant au cours de l'année (sans unité).

FCD = Facteur de conversion de dose (particulier à chaque radionucléide) : La dose prolongée sur 50 ans ou 70 ans, résultant de l'ingestion de 1 *Bq* d'un radionucléide donné *(Sv/Bq)*. Les FCD sélectionnés sont donnés au TABLEAU 7.

EXEMPLE :

Estimez la dose engagée de radiation pour un adulte mâle à la suite de l'ingestion pendant un an de césium 137 et de radium 226 dans les aliments sur le lieu de travail. Prenez pour acquis 50 semaines de travail par année, une semaine de travail de 5 jours avec la consommation d'un repas constitué d'aliments préparés sur le lieu de travail de façon à ce qu'environ un tiers de la quantité moyenne d'aliments consommés, présentés au TABLEAU 3, provienne du lieu de travail. La concentration d'activité de radionucléides (C) mesurée dans les trois groupes d'aliments et leur FCD par ingestion (voir TABLEAU 7) sont présentés ci-dessous.

$$EF = \frac{\text{1 année de travail x 50 semaines de travail/année x 5 jours de travail/semaine}}{\text{365 jours/année}}$$

$$= 0{,}68$$

Groupe d'aliments	Radionucléide	C	TC	FC	FE	FCD	DE_a pour chaque groupe d'aliments (Sv)
Viande	césium 137	2×10^{-2} *Bq*/g	61	365	0,68	$1{,}3 \times 10^{-8}$	$3{,}9 \times 10^{-6}$
Produits laitiers	césium 137	5×10^{-5} *Bq*/g	94	365	0,68	$1{,}3 \times 10^{-8}$	$1{,}5 \times 10^{-6}$
Légumes	radium 226	2×10^{-3} *Bq*/g	83	365	0,68	$2{,}2 \times 10^{-7}$	$9{,}1 \times 10^{-6}$
DE_a							$1{,}3 \times 10^{-5}$

La dose engagée estimée sur 50 ans pour le césium 137 et le radium 226, à la suite de la consommation d'aliments sur le lieu de travail au cours d'une année, représente $1{,}3 \times 10^{-5}$ *Sv* ($1{,}3 \times 10^{-2}$ *mSv*).

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Calcul de la dose estimée (DE) pour le rayonnement ionisant

Une fois que vous avez estimé les doses engagées pour chaque trajet et les radionucléides résultant de l'exposition interne au rayonnement, vous pouvez les ajouter les uns aux autres pour obtenir la dose totale estimée pour tous les radionucléides apportés dans le corps durant une année ($DE_{interne}$). Cette valeur est ajoutée à la dose estimée mesurée à partir de sources externes ($DE_{externe}$) pour obtenir la dose totale estimée (DE) pour le rayonnement ionisant. L'exemple suivant montre comment ce calcul est effectué.

Dose estimée (DE) = $DE_{externe} + DE_{interne}$

= $DE_{externe} + DE_i + DE_e + DE_s + DE_a$

dans laquelle :

$DE_{externe}$ est la dose estimée pour le rayonnement externe reçu durant l'année,

DE_i est la dose engagée estimée provenant des radionucléides inhalés dans l'air durant l'année,

DE_e est la dose engagée estimée provenant des radionucléides ingérés en buvant de l'eau durant l'année,

DE_s est la dose engagée estimée provenant des radionucléides ingérés en mangeant du sol durant l'année,

DE_a est la dose engagée estimée provenant des radionucléides ingérés en mangeant des aliments durant l'année.

EXEMPLE :

Estimez la DE pour l'exposition au rayonnement ionisant provenant de sources artificielles pour un adulte mâle sur le lieu de travail. Prenez pour acquis une année de travail de 50 semaines, une semaine de travail de 5 jours et une journée de travail de 8 heures avec la consommation d'un repas constitué d'aliments préparés sur le lieu de travail. La DE pour l'exposition interne par chaque trajet d'exposition possible a été calculée dans les quatre exemples précédents (air : $3,4 \times 10^{-6}$ *mSv;* eau : $2,6 \times 10^{-5}$ *mSv;* sol : $2,2 \times 10^{-7}$ *mSv;* aliments : $1,3 \times 10^{-2}$ *mSv*). La $DE_{externe}$ pour l'exposition aux radiations provenant de sources artificielles est mesurée par les instruments et on l'estime à $2,0 \times 10^{-2}$ *mSv* au-dessus du rayonnement naturel de fond.

DE = $DE_{externe} + DE_i + DE_e + DE_s + DE_a$

= $2,0 \times 10^{-2} + 3,4 \times 10^{-6} + 2,6 \times 10^{-5} + 2,2 \times 10^{-7} + 1,3 \times 10^{-2}$

= $3,3 \times 10^{-2}$ *mSv*

La dose estimée d'exposition au rayonnement interne et au rayonnement externe à partir du rayonnement ionisant au cours de l'année sur le lieu de travail est estimée à $3,3 \times 10^{-2}$ *mSv.*

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Comparaison de la DE avec les limites d'exposition au rayonnement

Pour déterminer si la dose estimée (DE), celle que vous avez calculée à partir de toutes les sources artificielles, se trouve à un niveau relié à un risque accru pour la santé, comparez-la à la limite d'exposition au rayonnement de 1 *mSv* émise par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Comparez également la dose annuelle estimée que vous avez calculée pour le trajet d'exposition de l'eau potable (DE_e) à la directive d'eau potable de 0,1 *mSv* émise par Santé Canada. La norme pour l'eau potable s'applique à la dose totale provenant de tous les radionucléides dans l'eau potable, qu'ils soient d'origine naturelle ou artificielle.

EXEMPLE :

Considérez une exposition sur le lieu de travail au rayonnement ionisant d'un homme décrit dans les exemples précédents, dont la DE totale (externe + interne) est estimée à $3{,}3 \times 10^{-2}$ *mSv* et dont l'exposition interne provenant de l'eau potable (DE_e) est de $2{,}6 \times 10^{-5}$ *mSv*. Comment cela se compare-t-il avec les limites établies par la CIPR et Santé Canada?

La limite de dose publique de la CIPR s'applique à la dose totale d'une personne à partir de toutes les sources au cours de l'année, à l'exception du rayonnement naturel de fond et des expositions à des fins médicales. L'exposition sur le lieu de travail de $3{,}3 \times 10^{-2}$ *mSv*, décrite dans l'exemple ci-dessus, est bien en dessous de la limite de dose publique de 1 *mSv*, reçue ou engagée au cours d'une année.

Dans le cas de l'eau potable, en supposant que la dose totale reçue de l'approvisionnement en eau est à partir de strontium 90, comme nous l'avons donnée à l'exemple précédent, la DE_e de $2{,}6 \times 10^{-5}$ *mSv* est bien en dessous de la norme de Santé Canada de 0,1 *mSv* pour la dose totale provenant de tous les radionucléides dans l'approvisionnement en eau.

Remarque : Cet exemple comporte des données fictives.

Avant de passer à l'étape suivante

Produits chimiques

- Tous les trajets d'exposition ont-ils été identifiés?
- Les doses journalières provenant de tous les trajets d'exposition ont-elles été calculées?
- Les DJE ont-elles été estimées en additionnant les expositions calculées pour chaque trajet d'exposition?
- Les DJE ont-elles été comparées aux DJT ou aux DSR, si celles-ci sont connues pour ces contaminants?

Rayonnement ionisant

- Tous les trajets d'exposition ont-ils été identifiés?
- Toutes les doses engagées estimées à partir de tous les trajets d'exposition ont-elles été calculées?
- La DE totale a-t-elle été estimée en additionnant les expositions calculées à partir de chaque trajet d'exposition, y compris le rayonnement provenant de sources extérieures au corps?
- La DE totale a-t-elle été comparée à la limite de dose de 1 *mSv* et la dose provenant du trajet d'exposition d'eau potable a-t-elle été comparée à la directive 0,1 *mSv*? Les expositions sont-elles aussi faibles que ce que l'on pourrait raisonnablement atteindre?

Que doit-on faire ensuite?

Une fois que l'exposition au contaminant a été estimée et comparée à la dose journalière tolérable (DJT), à la dose spécifique aux risques (DSR) ou à la limite de dose ou à la directive d'eau potable pour l'exposition au rayonnement, il est temps de décider quelles mesures l'on doit prendre sur la foi des résultats. Si la DJE est en dessous de la DJT ou de la DSR, ou si la DE de rayonnement est en dessous de la limite de dose ou de la directive pour l'eau potable, le risque pour la santé des gens peut être considéré comme faible, étant donné que l'exposition potentielle au contaminant est de moindre importance. Il est possible qu'aucune autre mesure ne soit nécessaire. Toutefois, si les expositions estimées dépassent les directives, vous pourriez envisager les possibilités suivantes :

- Informer le public sur les façons de réduire l'exposition. L'information pourrait comprendre des suggestions sur les habitudes et styles de vie qui pourraient réduire l'exposition;
- Recommander des mesures pour réduire la propagation des contaminants dans l'environnement;

- Recommander des normes volontaires pour les fabricants;
- Établir des normes et des directives à des niveaux qui permettront de protéger la santé des êtres humains.

Les choix envisagés dépendront du principal trajet d'exposition, du nombre de personnes exposées et de leur sensibilité ainsi que de la possibilité d'une interaction entre les différents contaminants.

TABLEAU 1 :

VALEURS RECOMMANDÉES POUR LA DOSE JOURNALIÈRE D'AIR, D'EAU ET DE SOL[1]

Âge (ans)	Inhalation d'air (m^3/jour)[2]	Ingestion d'eau[3] (L/jour)	Ingestion de sol (mg/jour)	Sol total adhéré[4] (mg/jour)
0 - < 0,5	2	AS: 0/0 NAS: 0,2/0,75	35	2 200
0,5 - < 5	5	0,2/0,8	50	3 500
5 - < 12	12	0,3/0,9	35	5 800
12 - < 20	21	0,5/1,3	20	9 100
20 +	23	0,4/1,5	20	8 700

[1] Source : Santé Canada. L' évaluation du risque pour la santé humaine des substances d'intérêt prioritaire, 1994

[2] 1 000 litres = 1 m^3

[3] Pour chaque groupe d'âge, la quantité d'eau qu'une personne boit est indiquée avec deux valeurs. La première valeur est l'eau prise directement du robinet, et la seconde valeur est l'eau prise directement du robinet plus les boissons basées sur l'eau du robinet telles que le thé, le café et les boissons gazeuses reconstituées.

Les nourrissons allaités uniquement au sein (AS) n'ont pas besoin de liquides supplémentaires. Les évaluations pour les nourrissons qui ne sont pas allaités au sein (NAS) sont données sur le volume consommé en tant qu'eau potable et sur l'absorption de 750 mL/jour de formule préparée à partir d'une formule en poudre ou de l'eau du robinet pour l'eau potable totale.

[4] Estimé à partir de la surface totale du corps pour chaque groupe d'âge (voir TABLEAU 2); la proportion de la surface totale du corps exposée au sol est estimée à 30 % pour les âges en dessous de 12 ans, 28 % pour les 12 à 19 ans et 24 % pour les 20 ans et plus; et l'on estime qu'environ 2 mg de sol adhèrent à chaque centimètre carré de peau exposée.

TABLEAU 2 :

VALEURS RECOMMANDÉES POUR LE POIDS CORPOREL ET LA SURFACE CORPORELLE

Valeurs recommandées pour le poids corporel et la surface corporelle								
Âge (ans)	Poids corporel[1] (kg)	Surface corporelle totale[2] (cm^2)	Surface de la tête[3] (cm^2)	Surface du tronc[3] (cm^2)	Surface des bras[3] (cm^2)	Surface des mains[3] (cm^2)	Surface des jambes[3] (cm^2)	Surface des pieds[3] (cm^2)
0 - < 0,5	7	3 680	660	1 325	520	185	770	220
0,5 - < 5	13	5 780	870	2 020	750	350	1 390	400
5 - < 12	27	9 660	1 210	3 330	1 210	480	2 705	725
12 - < 20	57	16 200	1 460	5 350	2 270	810	5 180	1 130
20+	70	18 200	1 275	6 370	2 550	910	5 820	1 275

[1] Source: Santé Canada. L'évaluation du risque pour la santé humaine des substances d'intérêt prioritaire, 1994

[2] La surface corporelle totale a été obtenue en utilisant des données de hauteur (centimètres) et de poids (kilogrammes) pour le corps provenant de l'«Enquête condition physique Canada» et l'«Enquête nutrition Canada» et de la formule suivante :

Surface corporelle totale (cm^2) = 0,2035 x $poids^{0,51456}$ x $hauteur^{0,42246}$

[3] Les surfaces pour chaque partie du corps ont été déterminées en tant que pourcentages de la surface corporelle totale. Ces pourcentages ont été adaptés d'après le EPA Exposure Handbook, 1989.

TABLEAU 3 :

CONSOMMATION MOYENNE DE DIVERS GROUPES D'ALIMENTS PAR LES CANADIENS, D'APRÈS L'ENQUÊTE NUTRITION CANADA

	Consommation (grammes/personne/jour)				
GROUPE D'ALIMENTS[1]	0 - < 0,5 ans[2]	0,5 - < 5 ans	5 - < 12 ans	12 - < 19 ans	20 +
PRODUITS LAITIERS	545	670	609	573	283
VIANDE, VOLAILLE, POISSON, OEUFS	37	90	120	169	183
PRODUITS CÉRÉALIERS	53	168	300	325	247
FRUITS ET PRODUITS À BASE DE FRUITS	112	189	202	160	186
LÉGUMES	42	125	198	250	250
GRAISSES	0,8	11	21	29	25
NOIX ET LÉGUMINEUSES	0,2	6	13	19	12
ALIMENTS, PRINCIPALEMENT SUCRÉS	25	46	57	67	57
PLATS MÉLANGÉS ET SOUPES	5	71	82	89	100
BOISSONS GAZEUSES, ALCOOL	2	102	196	264	255

[1] Les groupes d'aliments sont tirés de composites d'aliments individuels (se référer à la source ci-dessous pour plus de détails).

[2] Ces valeurs sont utilisées si l'on prend pour acquis que le nourrisson n'est pas exclusivement allaité au sein ni exclusivement nourri avec des formules.

Source : Santé Canada. L'évaluation du risque pour la santé humaine des substances d'intérêt prioritaire, 1994.

TABLEAU 4 :

CONSTANTES DE PERMÉABILITÉ (P) POUR DES COMPOSÉS SÉLECTIONNÉS, EXPOSITION DE LA PEAU À L'EAU

Composé	Constante de perméabilité (cm/h)
Aniline	$4{,}1 \times 10^{-2}$
Benzène	$1{,}11 \times 10^{-1}$
Butanol	$2{,}5 \times 10^{-3}$
2-Butanone (méthyl-éthyl-cétone)	$5{,}0 \times 10^{-3}$
Disulfure de carbone	$5{,}3 \times 10^{-1}$
p-Chlorophénol	$3{,}63 \times 10^{-2}$
p-Crésol	$1{,}75 \times 10^{-2}$
Chlorure de cobalt	$5{,}5 \times 10^{-4}$
Phtalate de dibutyle	$2{,}3 \times 10^{-4}$
Éthanol	$8{,}0 \times 10^{-4}$
Éthylbenzène	1,37
Chlorure de mercure	$1{,}33 \times 10^{-3}$
Méthanol	$5{,}0 \times 10^{-4}$
Nonanol	$6{,}0 \times 10^{-2}$
Parathion	$1{,}0 \times 10^{-2}$
Phénol	$8{,}22 \times 10^{-3}$
Styrène	$6{,}7 \times 10^{-1}$
Toluène	1,01
3,4-Xylénol	$3{,}6 \times 10^{-2}$

Remarque : La technique la plus prudente consiste à utiliser pour les calculs une constante de perméabilité de 1,0 cm/h. Ce principe est adopté par un certain nombre d'organismes officiels, plutôt que d'utiliser des valeurs mesurées ou estimées.

Source : EPA. Interim Guidance for Dermal Exposure Assessment. OHEA-E-367, octobre 1990.

TABLEAU 5 :

FACTEURS DE BIODISPONIBILITÉ (FB) POUR COMPOSÉS SÉLECTIONNÉS, EXPOSITION DE LA PEAU AU SOL

Composé	Facteur de biodisponibilité (sans unité)
Benzo [a] pyrène	0,01
Benzène	0,47
DDT	0,03
TCDD (dioxine)	0,01
Toluène	0,55
m-Xylène	1,0

Remarque : Les facteurs de biodisponibilité ci-dessus sont seulement des valeurs approximatives et ils peuvent différer des facteurs de biodisponibilité utilisés par d'autres. La technique la plus prudente consiste à utiliser une constante de perméabilité de 1,0 cm/h dans les calculs. Ce principe est adopté par un certain nombre d'agences, qui préfèrent cette constante à n'importe quelle valeur mesurée ou estimée.

Source : EPA. Interim Guidance for Dermal Exposure Assessment. OHEA-E-367, octobre 1990.

TABLEAU 6 :

DOSES JOURNALIÈRES TOLÉRABLES ET DOSES SPÉCIFIQUES AUX RISQUES POUR DES CONTAMINANTS SÉLECTIONNÉS

Non-cancérogène	Dose journalière tolérable	Référence*
Cuivre	0,05 - 0,5 mg/kg/jour	1
Endrine	1,0 µg/kg/jour	2
Plomb	(enfants et adultes) = 3,57 µg/kg/jour	1
Mirex	0,028 µg/kg/jour	2
Mercure : Méthyle Hg Hg total (Méthyle Hg + Hg inorganique)	0,47 µg/kg/jour 0,71 µg/kg/jour	1
Étain	2 mg/kg/jour	1
Zinc	0,3 - 1,0 mg/kg/jour	1

Cancérogène**	Indice de la pente*** $(mg/kg/jour)^{-1}$	DSR (mg/kg/jour) (1×10^{-5} niveau de risque)
Aldrine	17,0	$5,8 \times 10^{-7}$
Benzène	0,029	$3,4 \times 10^{-4}$
Benzo[a]pyrène	7,3	$1,3 \times 10^{-6}$
Chlordane	1,3	$7,7 \times 10^{-6}$
Tétrachlorure de carbone	0,13	$7,7 \times 10^{-5}$
p,p-DDT, p,p-DDE p,p-DDD	0,34	$2,9 \times 10^{-5}$
Dieldrine	16,0	$6,2 \times 10^{-7}$
Heptachlore	4,5	$2,2 \times 10^{-6}$
Époxyde d'heptachlore	9,1	$1,1 \times 10^{-6}$
Hexachlorobenzène	1,6	$6,2 \times 10^{-6}$
Hexachlorocyclohéxanes (α-HCH)	6,3	$1,6 \times 10^{-6}$
Pentachlorophénol	0,12	$8,3 \times 10^{-5}$
Biphényl polychloruré (BPC)	7,7	$1,3 \times 10^{-6}$

* Références : 1 - Comité conjoint européen sur les additifs alimentaires
2 - Division de l'évaluation toxicologique, Santé Canada

** Cancérogène connu ou probable

*** Indices de la pente obtenus d'après la base de données IRIS

TABLEAU 7 :

FACTEURS DE CONVERSION DE DOSE (FCD) POUR DES RADIONUCLÉIDES SÉLECTIONNÉS (United Kingdom National Radiological Protection Board, 1991)

Radionucléide	Facteurs de conversion de dose pour l'inhalation et l'ingestion *(Sv/Bq)*			
	Inhalation		Ingestion	
	Enfants (1 an)	Adulte (18 ans +)	Enfants (1 an)	Adulte (18 ans +)
Tritium (^{3}H)	$4{,}30 \times 10^{-11}$	$1{,}80 \times 10^{-11}$	$4{,}30 \times 10^{-11}$	$1{,}80 \times 10^{-11}$
Carbone 14 (^{14}C)	$1{,}50 \times 10^{-9}$	$5{,}60 \times 10^{-10}$	$1{,}50 \times 10^{-9}$	$5{,}60 \times 10^{-10}$
Strontium 90 (^{90}Sr)	$1{,}60 \times 10^{-6}$	$3{,}50 \times 10^{-7}$	$1{,}20 \times 10^{-7}$	$2{,}80 \times 10^{-8}$
Iode 129 (^{129}I)	$1{,}40 \times 10^{-7}$	$6{,}70 \times 10^{-8}$	$2{,}20 \times 10^{-7}$	$1{,}10 \times 10^{-7}$
Iode 131 (^{131}I)	$1{,}10 \times 10^{-7}$	$1{,}30 \times 10^{-8}$	$1{,}80 \times 10^{-7}$	$2{,}20 \times 10^{-8}$
Césium 137 (^{137}Cs)	$7{,}00 \times 10^{-9}$	$8{,}50 \times 10^{-9}$	$1{,}00 \times 10^{-8}$	$1{,}30 \times 10^{-8}$
Radium 226 (^{226}Ra)	$1{,}40 \times 10^{-5}$	$2{,}10 \times 10^{-6}$	$9{,}10 \times 10^{-7}$	$2{,}20 \times 10^{-7}$
Uranium 234 (^{234}U)	$1{,}50 \times 10^{-4}$	$3{,}50 \times 10^{-5}$	$1{,}70 \times 10^{-7}$	$3{,}90 \times 10^{-8}$
Uranium 238 (^{238}U)	$1{,}30 \times 10^{-4}$	$3{,}10 \times 10^{-5}$	$1{,}50 \times 10^{-7}$	$3{,}60 \times 10^{-8}$
Plutonium 239 (^{239}Pu)	$2{,}00 \times 10^{-4}$	$6{,}80 \times 10^{-5}$	$1{,}20 \times 10^{-6}$	$5{,}60 \times 10^{-7}$
Américium 241 (^{241}Am)	$1{,}60 \times 10^{-4}$	$7{,}00 \times 10^{-5}$	$1{,}30 \times 10^{-6}$	$5{,}70 \times 10^{-7}$

Facteur de conversion de dose (FCD) : La dose efficace engagée résultant de l'inhalation ou de l'ingestion de 1 *Bq* d'un radionucléide donné. Unité - sievert par becquerel *(Sv/Bq)*.

TABLEAU 8 :

CRITÈRES PROVISOIRES D'ÉVALUATION DES SOLS ET DE L'EAU

	Sol	Eau
Paramètres généraux		
pH	6 à 8	—
conductivité	2 dS/m	—
taux d'absorption de sodium	5	—
Paramètres inorganiques		
antimoine	20[1]	—
argent	2	5
arsenic	5	5
barium	200	50
béryllium	4	—
boron (soluble dans l'eau chaude)	1	—
cadmium	0,5	1
chrome (+6)	2,5	—
chrome (total)	20	15
cobalt	10	10
cuivre	30	25
cyanure (libre)	0,25	40
cyanure (total)	2,5	40
étain	5	10
fluorure (total)	200	—
mercure	0,1	0,1
molybdène	2	5
nickel	20	10
plomb	25	10
sélénium	1	1
soufre (élémentaire)	250	—
thallium	0,5	—
vanadium	25	—
zinc	60	50

Remarques : Toutes les valeurs en µg/g de poids sec ou µg/L, à moins d'indication contraire.

Les critères provisoires d'évaluation sont largement basés sur des concentrations ambiantes ou de fond pour la plupart des paramètres généraux et inorganiques, et sur des limites de détection analytiques pour la plupart des paramètres organiques.

— valeur non établie.

Voir à la fin du tableau pour les notes en bas de page.

Source : Le Conseil canadien des ministres de l'environnement. Critères provisoires canadiens de qualité environnementale pour les lieux contaminés, rapport CCME EPC-CS34, septembre 1991.

CRITÈRES PROVISOIRES D'ÉVALUATION DES SOLS ET DE L'EAU (suite)

	Sol	Eau
Hydrocarbures aromatiques monocycliques		
benzène	0,05	0,5
chlorobenzène	0,1	0,1
1,2-dichlorobenzène	0,1	0,2
1,3-dichlorobenzène	0,1	0,2
1,4-dichlorobenzène	0,1	0,2
éthylbenzène	0,1	0,5
styrène	0,1	0,5
toluène	0,1	0,5
xylène	0,1	0,5
Composés phénoliques		
non chlorés[2] (chacun)	0,1	0,1
phénols chlorés[3] (chacun)	0,05	1,0
Hydrocarbures aromatiques polycycliques		
benzo(a)anthracène	0,1	0,01
benzo(a)pyrène	0,1	0,01
benzo(b)fluoranthène	0,1	0,01
benzo(k)fluoranthène	0,1	0,01
dibenzo(a,h)anthracène	0,1	0,01
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0,1	0,1
naphtalène	0,1	0,2
phénanthrène	0,1	0,2
pyrène	0,1	0,2
Hydrocarbures chlorés		
aliphatiques[4] chlorés (chacun)	0,1	0,1
BPC[6]	0,1	0,1
chlorobenzènes[5] (chacun)	0,05	0,3
hexachlorobenzène	0,1	0,1
hexachlorocyclohexane	0,01	—
PCDD et PCDF[7]	0,00001	—
Paramètres organiques divers		
aliphatiques non chlorés (chacun)	0,3	—
esters d'acides phtalique (chacun)	30	—
quinoline	0,1	—
thiophène	0,1	—

Remarques pour le tableau 8

[1] Fixée à parité de la valeur des critères de décontamination agricole

[2] Les composés phénoliques non chlorés comprennent les produits suivants :
diméthyl-2,4 phénol
dinitro-2,4 phénol
méthyle-2 dinitro-4,6 phénol
nitro (2-, 4-) phénol
phénol
crésol

[3] Les phénols chlorés comprennent les produits suivants :
isomères de chlorophénols (ortho, méta, para)
dichloro (-2,6 -2,5 -2,4 -3,5 -2,3 -3,4) phénols
trichloro (-2,4,6 -2,3,6 -2,4,5 -2,3,5 -2,3,4 -3,4,5) phénols
tétrachloro (-2,3,5,6 -2,3,4,5 -2,3,4,6) phénols
pentachlorophénol

[4] Les hydrocarbures aliphatiques chlorés comprennent les produits suivants :
chloroforme
dichloro (-1,1 -1,2) éthane, dichloro (-1,1 -1,2) éthène
dichlorométhane
dichloro-1,2 propane, dichloro-1,2 propène (cis et trans)
tétrachloro-1,1,2,2 éthane, tétrachloroéthène
tétrachlorure de carbone
trichloro (-1,1,1 -1,1,2) éthane, trichloroéthène

[5] Les chlorobenzènes incluent les produits suivants :
tous les isomères de trichlorobenzène
tous les isomères de tétrachlorobenzène
pentachlorobenzène

[6] Les BPC incluent les isomères 1242, 1248, 1254 et 1260.

[7] Les PCDD et PCDF sont exprimés en équivalents 2,3,7,8-TCDD. Les facteurs internationaux d'équivalence de la toxicité de l'OTAN (I-TEF) pour les congénères et les isomères de PCDD et de PCDF sont comme suit :

Congénère	TEF	Congénère	TEF
2,3,7,8-T_4CDD	1,0	2,3,7,8-T_4CDF	0,1
1,2,3,4,8-P_5CDD	0,5	2,3,4,7,8-P_5CDF	0,5
1,2,3,4,7,8-H_6CDD	0,1	1,2,3,7,8-P_5CDF	0,05
1,2,3,7,8,9-H_6CDD	0,1	1,2,3,4,7,8-H_6CDF	0,1
1,2,3,6,7,8-H_6CDD	0,1	1,2,3,7,8,9-H_6CDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8-H_7CDD	0,1	1,2,3,6,7,8-H_6CDF	0,1
O_8CDD	0,001	2,3,4,6,7,8-H_6CDF	0,1
		1,2,3,4,6,7,8-H_7CDF	0,1
		1,2,3,4,7,8,9-H_7CDF	0,01
		O_8CDD	0,001

GLOSSAIRE

Becquerel	Le becquerel *(Bq)* est l'unité du système international (S.I.) pour mesurer l'activité, ou la désintégration radioactive, d'un radionucléide. Un becquerel est défini comme étant une désintégration atomique par seconde.
Constante de perméabilité	La constante de perméabilité décrit la vitesse à laquelle un produit chimique passe au travers de la peau pour pénétrer dans le corps. Cette constante est généralement déterminée à partir d'études en laboratoire et elle s'exprime en cm/heure.
Dose engagée	La dose de radiation, corrigée pour le type de radiation et le type de tissu ou d'organe exposé, qui sera reçue sur une certaine période à la suite d'une simple dose de matériau radioactif dans le corps. Les périodes standard d'intégration sont 50 ans pour les adultes et 70 ans pour les enfants.
Dose journalière estimée	La somme de toutes les expositions d'une substance à partir de toutes les voies d'exposition représente la dose journalière estimée (DJE). Celle-ci est généralement exprimée en milligrammes de contaminants par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).
Dose journalière tolérable	La dose journalière tolérable (DJT) est la quantité d'un produit chimique que les êtres humains peuvent consommer chaque jour pendant toute leur vie, tout en étant raisonnablement assurés que leur santé ne sera pas menacée. Cette dose est généralement exprimée en milligrammes de produits chimiques par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg/jour).
Facteur de biodisponibilité	Un polluant ou un autre produit chimique est sous une forme physique ou chimique qui lui permet d'être mangé, respiré ou absorbé autrement par les êtres vivants. C'est ce que l'on appelle la biodisponibilité d'une substance. Le facteur de biodisponibilité estime simplement la proportion de la substance dans l'environnement qui est prête à être absorbée. Par exemple, un facteur de biodisponibilité de 0,5 signifie que 50 % de la substance dans l'environnement est prête à être absorbée. Pour de nombreux composés, le facteur de biodisponibilité est inconnu. Dans de tels cas, on suppose un facteur de biodisponibilité de 1,0 (c.-à-d. que 100 % de la substance est prête à être absorbée).
Facteur d'exposition	Le facteur d'exposition tient compte de la fréquence à laquelle une personne est exposée à un contaminant, fréquence qui est établie en moyenne sur une vie entière. On calcule ce facteur en multipliant la fréquence d'exposition (événements/an) par la durée de l'exposition (ans/existence).
Irradiation	L'exposition au rayonnement ionisant.
Exposition	L'exposition est tout contact entre une substance et une personne. L'exposition peut survenir par différents moyens, y compris le fait de manger, de boire, de respirer, et le contact par la peau.
Produits chimiques inorganiques	Les produits chimiques inorganiques sont d'origine minérale. Des exemples de substances inorganiques sont le plomb, le cadmium, le mercure et l'amiante.
Produits chimiques organiques	Les produits chimiques organiques contiennent du carbone, généralement en combinaison avec d'autres éléments tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote ou le chlore. Les matières végétales, le pétrole et les plastiques sont des exemples de matières organiques, comme c'est le cas des BPC, des DDT et du chlorure de polyvinyle.

Radionucléide	**Un nucléide instable (noyau d'un atome) qui subit une détérioration radioactive spontanée, émettant par la même occasion un rayonnement ionisant, et qui se métamorphosera éventuellement en un autre élément.**
Sievert	**Le sievert *(Sv)* est l'unité du système international (S.I.) pour la dose efficace de radiation, égale à 1 joule d'énergie absorbée par kilogramme de tissu absorbant.**
Trajet d'exposition	**Le trajet qu'un contaminant peut prendre pour atteindre les êtres humains ou autres organismes vivants. Les trajets d'exposition comprennent tous les éléments qui relient la source d'un contaminant à la voie d'exposition (ingestion, inhalation, contact par la peau) par le biais de laquelle le contaminant pénètre dans le corps.**
Voie d'exposition	**Une voie d'exposition est la façon dont un contaminant pénètre dans le corps humain. Il y a trois voies principales par lesquelles les êtres humains peuvent laisser entrer les contaminants dans leurs corps. Ces voies comprennent le fait de manger et de boire (ingestion), l'inhalation et l'absorption par la peau.**

RÉFÉRENCES

1. Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR). *Public Health Assessment Guidance Manual.* Lewis Publishers, Michigan, 1992.
2. Le Conseil canadien des ministres de l'environnement. *Protocole d'élaboration de recommandations de qualité des sols en fonction de l'environnement et de la santé humaine.* Rapport CCME-EPC-101F, 1996.
3. Le Conseil canadien des ministres de l'environnement. *Critères provisoires canadiens de qualité environnementale pour les lieux contaminés.* Rapport EPC-CS34, septembre 1991.
4. Enquête condition physique Canada. *La condition physique et le mode de vie au Canada,* 1983.
5. Environmental Protection Agency. *EPA Exposure Handbook.* EPA/600/8-89/043, juillet 1989.
6. Environmental Protection Agency. *Interim Guidance for Dermal Exposure Assessment.* OHEA-E-367, octobre 1990.
7. Paustenbach, D.J. (ed.). *The Risk Assessment of Environmental and Human Health Hazards: A Textbook of Case Studies.* John Wiley and Sons, New York, N.Y., 1989.
8. Santé Canada. *L'évaluation du risque pour la santé humaine des substances d'intérêt prioritaire,* 1994. Loi canadienne sur la protection de l'environnement, n° de cat. En40-215/41F, 1994.
9. Santé Canada. *Détermination du risque pour la santé : Le défi de la protection de la santé.* Direction de la protection de la santé. Numéro de catalogue : H49-40/1993F, 1993.
10. Santé et Bien-être Canada. *Un lien naturel : La santé et l'environnement au Canada.* Numéro de catalogue: H21-112/1992F, 1992.
11. Santé et Bien-être Canada, ACTUALITÉS. *Les contaminants chimiques dans les aliments : Évaluation des risques pour la santé.* Direction de la protection de la santé, 7 octobre 1991.
12. Santé et Bien-être Canada. *Rapport anthropométrique : Hauteur, poids et dimensions corporelles.* Un rapport de Nutrition Canada, 1980.
13. Ville de Toronto. *Determining the Human Health Risks to Environmental Chemicals: Resource Manual.* Bureau de la protection de l'environnement, département de la santé publique, novembre 1991.

RESSOURCES

1. Gouvernement fédéral

Division de l'information sur les pesticides
Agriculture et agro-alimentaire Canada
59, promenade Camelot
Nepean (Ontario) K1A 0Y9
Tél. : 1-800-267-6315 (Service d'information sur les pesticides)

Service de l'environnement atmosphérique
Environnement Canada
25, avenue St. Clair Est, 3e étage
Toronto (Ontario) M4T 1M2
Tél. : (416) 973-1114

Les Grands Lacs: Impact sur la santé
Santé Canada
Immeuble principal, Pièce 1108
Pré Tunney, 0301 A1
Ottawa (Ontario) K1A 0K9
Tél. : (613) 957-1876

Direction des aliments
Santé Canada
Immeuble Protection de la santé
Pré Tunney
Ottawa (Ontario) K1A 0L2
Tél. : (613) 957-1821

Division de la surveillance et des critères (Déchets dangereux)
Santé Canada
Pièce 126, Centre de l'hygiène du milieu
Pré Tunney
Ottawa (Ontario) K1A 0L2
Tél. : (613) 957-3128

Division des dangers des rayonnements du milieu
Bureau de la radioprotection
Santé Canada
775, chemin Brookfield, Confederation Heights
Ottawa (Ontario) K1A 1C1
Tél. : (613) 954-6671

Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT)
Bureau de la sécurité des produits
Santé Canada
17e étage, zone 2
Place du Portage, Phase 1
50, rue Victoria
Hull (Québec) K1A 0C9
Tél. : (819) 953-2035

2. Gouvernement provincial (Ontario)

Section des Grands Lacs
Ministère de l'Environnement et de l'Énergie
125, chemin Resources
Etobicoke (Ontario) M9P 3V6
Tél. : (416) 235-6222

Direction de la coordination des normes sur les polluants dangereux
Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario
135, avenue St. Clair Ouest
Toronto (Ontario) M4V 1P5
Tél. : (416) 323-5095

Ministère de l'Environnement et de l'Énergie
Centre d'information
135, avenue St. Clair Ouest, 1er étage
Toronto (Ontario) M4V 1P5
Tél. : (416) 323-4231 ou 1-800-565-4923

Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario
Centre d'information publique
900, rue Bay, Pièce 1-M73
2, édifice McDonald
Toronto (Ontario) M7A 2C1
Tél. : (416) 314-2000

Unité de toxicologie et de l'hygiène du milieu
Ministère de la Santé de l'Ontario
5700, rue Yonge, 8e étage
North York (Ontario) M2M 4K2
Tél. : (416) 327-7427

3. Administration municipale

Commissaire local de la planification des travaux publics

Adresse : _____ Adresse : _____

_____ _____

_____ _____

Tél. : _____ Tél. : _____

Bureau local de l'environnement

Adresse : _____ Adresse : _____

_____ _____

_____ _____

Tél. : _____ Tél. : _____

Usine locale de traitement des eaux usées

Adresse : _____ Adresse : _____

_____ _____

_____ _____

Tél. : _____ Tél. : _____

Autres ressources locales

Adresse: _____ Adresse: _____

_____ _____

_____ _____

Tél: _____ Tél: _____

4. Établissements d'enseignement supérieur

Institute of Environment and Health

- Université McMaster
  Département de géographie
  1280, rue Main O.
  Hamilton (Ontario) L8S 4K1
  Tél. : (905) 525-9140
- Université de Toronto
  Institut pour l'étude de l'environnement
  170, rue College, pièce 204
  Toronto (Ontario) M5S 1A4
  Tél. : (416) 978-2994

Université Queen
Département de la santé communautaire et de l'épidémiologie
Hall Abramsky, 3e étage
Kingston (Ontario) K7L 3N6
Tél. : (613) 545-2901

Ryerson Polytechnical University
School of Environmental Health
350, rue Victoria
Toronto (Ontario) M5B 2K3
Tél. : (416) 979-5154

Université de Guelph
Faculté des sciences de l'environnement
Hall Blackwood, Pièce 101
Guelph (Ontario) N1G 2W1
Tél. : (519) 824-4120

Université d'Ottawa
Faculté de médecine
Département de médecine communautaire
451, chemin Smyth, Pièce 3231C
Ottawa (Ontario) K1H 8M5
Tél. : (613) 787-6480

Université de Toronto
Institut pour l'étude de l'environnement
170, rue College, pièce 204
Toronto (Ontario) M5S 1A4
Tél. : (416) 978-2994

Université de Waterloo
Faculté de l'étude de l'environnement
Waterloo (Ontario) N2L 3G1
Tél. : (519) 885-1211 poste 3463

Université Western Ontario
Faculté de médecine
Département de médecine familiale
Édifice Kresge, Pièce K101
London (Ontario) N6A 5C1
Tél. : (519) 661-2037

5. Agences et associations

Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (USA)
Department of Health and Human Services
1600 Clifton Road
Atlanta, Georgia 30333
Tél. : (404) 639-6206

Association canadienne de santé publique
1565, avenue Carling, Bureau 400
Ottawa (Ontario) K1Z 8R1
Tél. : (613) 725-3769

Association pour la santé publique de l'Ontario
468, rue Queen Est, Bureau 202
Toronto (Ontario) M5A 1T7
Tél. : (416) 367-3313

Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
250, rue Main Est
Hamilton (Ontario) L8N 1H6
Tél. : 1-800-263-8466

Commission internationale de protection radiologique (CIPR)
Les documents de la CIPR sont publiés sous le titre *Annals of ICRP* et sont offerts par :

Review Journals
Pergamon Press plc
Headington Hill Hall
Oxford, U.K. OX3 0BW
Tél. : 0865 794141

Institut canadien des inspecteurs en hygiène publique
38, promenade Auriga, Bureau 201
Nepean (Ontario) K2E 8A5
Tél. : (613) 224-7568

International Institute of Concern for Public Health
710 - 264, Queen's Quay Ouest
Toronto (Ontario) M5J 1B5
Tél. : (416) 260-0575

National Radiation Protection Board (NRPB) Agent d'information
Chilton, Didcot, Oxon, OX11 0RQ
U.K.
Tél. : 0235 831600

U.S. National Technical Information Service
U.S. Department of Commerce
Springfield, Virginia 22161 USA
Tél. : (703) 487-4650

BASES DE DONNÉES EN DIRECT

Ces bases de données figurent sur ordinateur. Pour que vous puissiez les utiliser, votre ordinateur doit pouvoir communiquer avec l'ordinateur principal de la base de données. Certaines bibliothèques publiques et la plupart des bibliothèques universitaires possèdent l'équipement et les raccordements nécessaires pour accéder à certaines de ces bases de données. Pour les bases de données très scientifiques, les bibliothèques universitaires sont mieux en mesure de vous aider. Si les bibliothécaires ne peuvent pas faire votre recherche, ils pourront sans doute trouver une personne compétente pour vous aider. Pour obtenir de l'aide en ce qui concerne les bases de données de statistiques sur la santé, adressez-vous à un médecin hygiéniste ou au ministère de la Santé de l'Ontario.

La plupart des recherches coûtent cher. Plus vous serez précis au sujet des renseignements dont vous avez besoin, plus la recherche sera courte, et moins les coûts seront élevés. Là encore, les bibliothécaires pourront vous aider à réduire vos coûts.

Nom de la base de données	Description
Biosis Previews	Contient des citations à partir de résumés analytiques biologiques.
Cab Abstracts	Il s'agit d'un fichier complet de renseignements agricoles et biologiques.
CA Search	Contient des données bibliographiques, des phrases clés et des entrées d'index pour tous les documents couverts par les services de résumés analytiques sur les produits chimiques.
Chemical Safety	Fournit des informations sur les effets dangereux et potentiellement dangereux des produits chimiques et des procédés auxquels font face les travailleurs dans l'industrie et les laboratoires. Cette base de données couvre aussi les dangers microbiologiques et le rayonnement auxquels on fait face sur le lieu de travail.
CRIS/USDA	Fournit des informations sur la recherche appuyée par le gouvernement fédéral et le gouvernement des différents états des États-Unis dans l'agriculture, l'alimentation et la nutrition, l'exploitation forestière et les domaines connexes.
Drug Information Fulltext	Renseigne sur la stabilité, la chimie et la pharmacocinétique des médicaments; fournit des indications sur l'action, l'usage, le dosage et l'administration de ces derniers. Le fichier traite aussi de la compatibilité et des actions croisées des médicaments et les précautions concernant l'usage.
EiCompendex Plus	Contient des résumés analytiques provenant de la documentation d'ingénierie et de technologie du monde entier.
EMBASE	Contient des résumés analytiques et des citations d'articles portant sur la médecine humaine et les médicaments.
Enviroline	Contient un index et des résumés analytiques de la documentation sur tous les aspects de l'environnement.
Environmental Bibliography	Couvre l'écologie humaine générale, les études atmosphériques, l'énergie, les ressources en terrain, les ressources en eau, la nutrition et la santé.

Nom de la base de données	Description
International Pharmaceutical Abstracts	Fournit des renseignements sur toutes les phases du développement et l'utilisation des médicaments et sur la pratique pharmaceutique professionnelle.
IRIS	The Integrated Risk Information System (IRIS) contient des renseignements toxicologiques et des renseignements sur les règlements portant sur plus de 400 produits chimiques. IRIS est mis à jour annuellement.
MEDLINE/MEDLARS	Couvre des articles de chaque aspect de la biomédecine.
Pollution Abstracts	Références à la documentation sur la pollution reliée à l'environnement, ses sources et son contrôle.
NIOSHTIC	Couvre tous les aspects de la sécurité et de la santé au travail.
NTIS	Contient des résultats sur la recherche, le développement et l'ingénierie parrainés par le gouvernement des États-Unis.
RTECS	The Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) contient des données sur la toxicité de plus de 100 000 substances chimiques.
Sedbase	Base de données avec texte complet qui analyse d'une façon critique la documentation publiée sur les effets secondaires des médicaments utilisés actuellement.
Toxline	Couvre les effets nocifs des produits chimiques, des médicaments et des agents physiques sur les systèmes vivants.